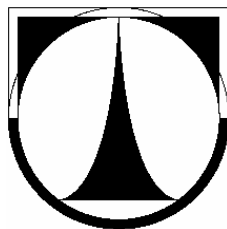


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



**VÝVOJ ZAŘÍZENÍ PRO HODNOCENÍ
PROPUSTNOSTI VODNÍ PÁRY TEXTILIÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Textilní inženýrství M 3106

Obor: Řízení technologických procesů

3106T005

Katedra oděvnictví

**VÝVOJ ZAŘÍZENÍ PRO HODNOCENÍ
PROPUSTNOSTI VODNÍ PÁRY TEXTILIÍ**

**DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR
EVALUATION OF THE WATER VAPOUR
PERMEABILITY THROUGH THE FABRICS**

David Targosz

KOD - 724

Vedoucí diplomové práce: Doc.Dr.Ing. Zdeněk Kůs

Rozsah práce:95

Datum odevzdání: 15.5.2006

Počet stran textu:88

Počet obrázků: 37

Počet tabulek: 16

Počet příloh: 1

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do její skutečné výše).

V Liberci, dne 10.5.2006

Podpis:

David Targosz

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc.Dr.Ing. Zdeňku Kůsovi za odborné vedení, podnětné rady a připomínky. Dále Prof.Ing.Luboši Hesovi DrSc. a Doc.Ing. Antonínu Havelkovi CSc. za odborné konzultace při řešení experimentálních problémů, Ing. Radimu Šubertovi za odborné rady při měření na laboratorní větrné trati a Ing.Dagmar Růžičkové za poskytnuté materiály.

Také bych chtěl poděkovat mým rodičům, bez kterých by tato práce nikdy nevznikla, za jejich materiální pomoc a psychickou podporu při studiu.

ANOTACE

Tato práce se zabývá vývojem zařízení pro hodnocení propustnosti vodní páry textilií. Cílem diplomové práce bylo sestavení a instalování tohoto zařízení na laboratorní větrnou trať, vyhodnocení propustnosti vodní páry a srovnání naměřených výsledků s hodnotami propustnosti vodní páry vyhodnocenými na přístrojích PERMETEST a PSM-2.

Pro experiment byly použity membránové, zátěrové a materiály používané pro svrchní oblečení s důrazem na vysokou prodyšnost a propustnost vodní páry.

ABSTRACT

This diploma thesis is concerned with the development of equipment for evaluation of the water vapour permeability through the fabrics. The aim of this work was assemblage and installation of this equipment into the laboratory wind-tunnel, evaluation of the water vapour permeability and comparing of the measured results with the values of the water vapour permeability evaluated with the apparatus PERMETEST and PSM-2.

For the experiment were used the diaphragmal, coated and materials used for the outwears with the emphasis on high air permeability and water vapour permeability.

KLÍČOVÁ SLOVA

Propustnost vodní páry

Laboratorní větrná trať

Vývoj

Proud vzduchu

Hodnocení

Přístroj

KEY WORDS

Water vapour permeability

Laboratory wind-tunnel

Development

Air flow

Evaluation

Equipment

OBSAH

1. ÚVOD	14
2. TEORETICKÁ ČÁST	15
2.1. Oděvní komfort.....	15
2.1.1. Definice komfortu	15
2.1.2. Fyziologický komfort	15
2.1.3. Senzorický komfort	17
2.1.4. Patofyziologický komfort	19
2.2. Kůže a kožní orgány	19
2.2.1. Funkce kůže	19
2.2.2. Pocení (respirace).....	19
2.2.3. Obsah vody v kůži.....	20
2.2.4. Složení kůže	20
2.3. Tepelná bilance organismu.....	21
2.4. Přenos tepla mezi organismem a okolím.....	22
2.4.1. Sdílení tepla vedením (kondukcí)	23
2.4.2. Sdílení tepla prouděním (konvekcí)	24
2.4.3. Sdílení tepla sáláním (radiací)	24
2.4.4. Sdílení tepla odpařováním (evaporací).....	25
2.4.5. Sdílení tepla dýcháním (respirací)	26
2.5. Transport kapalné vlhkosti	26
2.5.1. Kapilární odvod potu.....	28
2.5.2. Migrace potu (vody).....	29
2.5.3. Difúzní prostup vlhkosti	30
2.5.4. Sorpční proces.....	31
2.6. Transport plynné vlhkosti z povrchu lidského těla	32
2.7. Vlastnosti plošných textilií	34
2.7.1. Vzlínavost	34
2.7.2. Propustnosti	34
2.7.2.1. Propustnost vzduchu (prodyšnost)	35
2.7.2.2. Tepelná propustnost.....	36
2.7.2.3. Propustnost vodních par	36
2.8. Metody a přístroje na měření propustnosti vodních par plošnou textilií	37
2.8.1. Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošnou textilií ČSN_800855 (gravimetrická metoda)	37
2.8.2. Metoda DREO.....	38
2.8.3. Stanovení parametrů termofyziologického komfortu pomocí SKIN MODELU	39
2.8.3.1. Zkouška za stacionárních podmínek	39
2.8.3.2. Zkouška za nestacionárních podmínek	40
2.8.4. PERMETEST.....	41
2.9. Nové zařízení a principy usnadňující hodnocení tepelného komfortu oděvů.	42
2.9.1. Testovací zařízení - potící torzo.....	42
2.9.1.1. Uspořádání testu.....	42
2.9.2. Tepelný manekýn	43
2.9.3. Bioklimatická komora	45
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	46
3.1. Použité materiály	46
3.2. Srovnávací měření propustnosti vodních par.	46

3.2.1. Propustnost vodních par - PERMETEST	47
3.2.1.1. Technické parametry přístroje PERMETEST.....	47
3.2.1.2. Postup měření.....	48
3.2.1.3. Podmínky měření	49
3.2.1.4. Výsledky měření	49
3.2.2. Propustnost vodních par - přístroj PSM-2	51
3.2.2.1. Princip měření	51
3.2.2.2. Postup měření odolnosti vůči vodním parám.....	52
3.2.2.3. Podmínky měření	53
3.2.2.4. Výsledky měření	53
3.3. Hodnocení prodyšnosti na přístroji SDL M 021S	54
3.3.1. Princip měření	55
3.3.2. Postup měření prodyšnosti.....	55
3.3.3. Podmínky měření	56
3.3.4. Výsledky měření	57
3.4. Laboratorní větrná trať	58
3.4.1. Měřicí a komunikační vybavení větrné tratě	60
3.4.1.1. Měřicí systém ALMEMO 8990-6.....	60
3.4.1.2. Prandtlova trubice.....	61
3.5. Zařízení pro hodnocení propustnosti vodní páry na laboratorní větrné trati KOD..	61
3.5.1. Umístění soustavy v měřicí části tunelu	62
3.5.2. Snímání a zápis dat.....	63
3.5.3. Program pro komunikaci a zápis dat	67
3.5.4. Princip měření	68
3.5.5. Podkladová textilie	71
3.5.6. Postup měření.....	75
3.5.7. Podmínky měření	77
3.5.8 Výsledky měření	78
3.6. Porovnání výsledků jednotlivých měření.....	84
4. ZÁVĚR	87
5. Použitá literatura	89

POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY

KOD	zkratka katedra oděvnictví
PC	zkratka pro počítač
PE-LD	Polyethylen o nízké hustotě
T	teplota [$^{\circ}\text{C}$]
φ	relativní vlhkost vzduchu [%]
m	hmotnost [kg]
A	povrch těla [m^2]
A_{Du}	povrch lidského těla podle Duboise [m^2]
M_{min}	základní metabolický výkon [W]
M	celkový metabolický výkon [W]
L	pracovní výkon [W]
η	účinnost [%]
q_v	přenos tepla vedením (kondukcí) [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
q_p	přenos tepla prouděním (konvekcí) [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
q_z	přenos tepla zářením (radiací) [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
q_i	ochlazování nepatrným a neustálým odpařováním z kožních pórů [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
q_r	ochlazování dýcháním [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
q_{pe}	intenzivní ochlazování pomocí hlavních potních žláz [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
q_a	změna akumulovaného tepla při náhlé změně teploty prostředí [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
V_a	průtok při ochlazování dýcháním
$\Delta\tau$	doba, kdy dojde ke změně akumulovaného tepla
h	tloušťka oděvní vrstvy [mm]
q	tok tepla [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
λ	tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
$\Delta t/\Delta x$	teplotní gradient

R	tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
Q_v	množství prošlého tepla [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]
S	plocha [m^2]
v_{11}	teplota vnitřní strany textilie [$^{\circ}\text{C}$]
v_{22}	teplota vnější strany textilie [$^{\circ}\text{C}$]
v_k	teplota pokožky [$^{\circ}\text{C}$]
v_o	teplota okolí [$^{\circ}\text{C}$]
Δ_{vM}	pokles teploty [$^{\circ}\text{C}$]
h_m	tloušťka mikroklimatu [mm]
Q_p	odvedené teplo proudění [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]
α_p	koeficient přestupu tepla [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
α_s	koeficient sálání [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
Q_o	odparné teplo [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]
P_k	parciální tlak vodních par na povrchu kůže [Pa]
P_t	parciální tlak vodních par na povrchu textilie [Pa]
P_o	tlak okolního vzduchu [Pa]
P_v	tlak vnější plochy textilie [Pa]
Δ_p	parciální spád tlaků [Pa]
Δ_i	měrné výparné skupenské teplo [J]
m_k	permeabilita kůže [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$]
Q_d	respirační odvod tepla [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]
W_{ex}	množství vdechovaných vodních par [kg]
W_a	množství vodních par vydechovaných [kg]
t	čas [s]
Q_M	množství tepla, jež vyrobí organismus metabolickými pochody [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$]
ΔP	kapilární tlak
γ	povrchové napětí vody

Θ	kontaktní úhel ($\cos\Theta$ - charakterizuje smáčecí schopnost textilie)
p_r	zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů
R_{dif}	difúzní odpor [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
v	rychlostní koeficient přenosu páry [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
R_p	plynová konstanta vodní páry [$\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$]
T	absolutní teplota [K]
m^*	množství páry přenášené vzduchovou mezerou [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]
P_{wsat}	nasycený parciální tlak na povrchu lidské pokožky [Pa]
P_{we}	parciální tlak v okolním prostředí [Pa]
q	tepelný tok [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
L	výparné teplo vody [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]
D_p	difúzní koeficient [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$]
$\Delta P_{parc}/\Delta x$	gradient parciálního tlaku
C	gradient koncentrace hmotnosti [$\text{kg}\cdot\text{H}_2\text{O}/1\text{kg}$ vlhkého vzduchu]
M_w	molární koncentrace vodní páry
h	sací výška [mm]
R	prodyšnost [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]
q_v	průměrný objem vzduchu [$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$]
S	zkušební plocha vzorku [cm^2]
$grad\vartheta$	gradient teploty [$\text{m}^{-1}\cdot^\circ\text{C}$]
Φ	tepelný tok [$\text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$]
λ	měrná tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Q	celkové množství prošlého tepla [J]
P_{D1}	parciální tlak na povrchu pokožky [Pa]
P_{D2}	parciální tlak na povrchu textilie [Pa]
G_0	hmotnost misky se vzorkem před expozicí
G_1	hmotnost misky se vzorkem po expozici

$P_{rel}(RP)$	relativní propustnost [%]
P_{abs}	absolutní propustnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1}$]
P	elektrický příkon [W]
q_i	tepelný tok odváděný do okolí
q_{in}	tepelný tok pro neoblečeného manekýna
R_{EN}	vnější odpor těla
$R_{Tot,i}$	celkový tepelný odpor
RCL,i	hladina odporu jednotlivých oblečení
$R_{G,i}$	tepelný odpor navrstvených částí oděvů
$R_{A,i}$	tepelný odpor vzduchových mezer jednot.segmentů
TK_T	termofyziologický komfort
TK_H	komfort senzorický
$TK_{celkový}$	celkový odpor oděvu pro vodní páru
im_t	index prostupu vodních par [-]
F_i	schopnost krátkodobého přijímání par [%]
K_d	hodnota vyrovnání vlhkosti [-]
β_T	hodnota vyrovnání teploty [$\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$]
K_f	pufrační veličina [-]
R_{ct}	tepelná izolace vlhké textilie [$\text{m}^2\cdot\text{mbar}\cdot\text{W}^{-1}$]
i_0	povrchový index [-]
n_k	počet dotykových bodů [-]
i_k	Index lepivosti [-]
i_B	index snášivosti [-]
p_i	relativní propustnost vodních par [%]
\overline{p}	průměrná relativní propustnost vodních par [%]
T_m	teplota měřící jednotky [$^{\circ}\text{C}$]
T_s	teplota tepelného chrániče [$^{\circ}\text{C}$]

T_a	teplota vzduchu ve zkušebním prostoru [$^{\circ}\text{C}$]
H	výhřevnost měřící jednotky [W]
R_{et}	odolnost vůči vodním parám [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$]
W_d	propustnost vodních par [$\text{g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$]
ΦT_m	latentní teplo [$\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$]
Δm	velikost úbytku hmotnosti vody vzniklá odpařováním skrz daný materiál [g]
P_v	propustnost vodních par [$\text{g} \cdot \text{m}^2 \cdot 24\text{h}$]
v	rychlosti proudění vzduchu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
α_l	koeficient pro převod propustnosti na m^2 za 24 hodin [-]

1. ÚVOD

Jednou z vlastností, která při nošení oděvu hraje významnou a neodmyslitelnou roli, je fyziologický komfort.

Mezi nejdůležitější vlastnosti ovlivňující fyziologický komfort je schopnost oděvní vrstvy odvádět vlhkost od pokožky a schopnost svrchní vrstvy oděvu v dostatečné míře odvedenou vlhkost propouštět do okolí ve formě vodní páry. Zároveň by však textilní materiál měl být nepromokavý a odolný vůči větru. V současnosti tyto nároky nejlépe splňují membránové materiály.

Snahou výrobců těchto textilií je zaručit spotřebiteli zmíněné vlastnosti nejen při běžném nošení, ale i za extrémních klimatických podmínek. K simulaci takových podmínek slouží laboratorní větrná trať, která je umístěna na KOD.

Cílem diplomové práce je vývoj zařízení pro hodnocení propustnosti vodní páry oděvní vrstvou. Zařízení bude součástí laboratorní větrné tratě, pomocí které pak bude ofukováno proudem vzduchu o různých rychlostech. Výsledky měření z tohoto zařízení budou také porovnávány s hodnotami propustnosti vodních par zjištěných dvěmi různými metodami pomocí přístrojů PERMETEST a PSM-2.

Poznatky získané při studiu vlivu klimatických podmínek na propustnost oděvní vrstvy mohou výrobcům napomoci při výzkumu a výrobě nových oděvních materiálů a spotřebiteli při výběru vhodného materiálu.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Oděvní komfort

2.1.1. Definice komfortu

Fyziologický komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce lidského organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy, vnímané našimi smysly. Nepřevládají pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stavu setrvat a pracovat.

Komfort lze zjednodušeně definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů [1].

Oděvní komfort má dvě složky :

- *funkční komfort*
- *psychologický komfort*

Funkční komfort zahrnuje *fyziologický*, *senzorický* a *patofyziologický* komfort [2].

2.1.2. Fyziologický komfort

Stav lidského organismu, v němž jsou fyziologické funkce v optimu a který je subjektem vnímán jako **pohodlí**. V tomto stavu může organismus setrvat neomezeně dlouho. Pocit pohodlí je určitá neměřitelná představa, je dán nepřítomností nepříjemného pocitu horka, či zimy.

Ideálním stavem pro lidský organismus je stav **bazálního metabolismu** (základní látková výměna), který nastává tehdy, když organismus, zdravý, hladový a neoblečený, setrvává v naprosté nečinnosti ve vodorovné poloze, nevykonává žádnou činnost, leží v klimatických podmínkách ($T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\text{ }\%$) a nepocituje žádný pocit chladu nebo horka, tehdy probíhá pouze minimální látková výměna, potřebná k udržení funkce tělesných orgánů.

Tento stav je ovšem idealizovaný. Ve skutečnosti organismus produkuje větší množství tepla a také podmínky okolního prostředí neodpovídají ideálním podmínkám [1].

Faktory ovlivňující pocit pohodlí:

- *Vlhkost vzduchu pod oděvem.*

V podmínkách tepelné pohody se relativní vlhkost vzduchu pod oděvem (ve vrstvě vzduchu mezi pokožkou a první vrstvou oděvu) pohybuje v rozmezí 35-60 %. Nejdůležitější je dynamika vlhkosti vzduchu pod oděvem, která ovlivňuje schopnost oděvu (vlivem materiálu a střihu) odvádět pot z těla do okolního prostředí.

Jestliže v teplém prostředí, v němž jediným způsobem zachování tepelné rovnováhy je sdílení tepla vypařováním, je odvádění vody nedostatečné, organismus se přehřívá a voda se hromadí v oděvu i na kůži těla. V chladném prostředí svědčí zvýšení vlhkosti vzduchu pod oděvem o nepřiměřenosti tepelně izolačních vlastností oděvu v daných podmínkách použití a o nedostatečné propustnosti vodních par oděvem. [1]

- *Vlhkost pokožky.*

Vlhkost pokožky je vyjádřena množstvím vyloučené vody – potu, závisí na fyzické námaze a klimatických podmínkách. Hustota a velikost potních žláz je také na různých částech těla různá. Vlhkost hromadí se na pokožce, která není odvedena přes materiál do okolí, způsobuje nežádoucí pocit mokra a fyziologický diskomfort. Důležité je, aby množství odpařeného potu bylo okolí schopno přijmout [1].

Množství vyloučeného potu ($\text{g/m}^2/\text{hod}$) v závislosti na fyzické aktivitě:

- Spánek (35-40)
- Sezení (50-60)
- Stání (60-70)
- Chůze (140-160)
- Běh (450-550)

- *Teplota vzduchu pod oděvem.*

Je to teplota vzduchu mezi povrchem těla a první oděvní vrstvou. Optimální úroveň této teploty je dána fyzickou aktivitou člověka. Pro osobu v klidu představuje pohodu, teplota vzduchu v oblasti trupu je 30-32 °C a pro osobu vykonávající těžkou fyzickou činnost je to teplota 15 °C [1].

- *Teplota pokožky.*

Teplota pokožky závisí na měřené části těla a na prokrvení jednotlivých částí. Nejvyšší teploty 35-36 °C se měří v dobře prokrvených částech těla, jako je hlava, břicho, hrudník a v místě ledvin. Na periferních částech těla dosahuje teplota těla pouze 29-31 °C. Vnitřní teplota organismu je vyšší než 37 °C [2].

2.1.3. Senzorický komfort

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Pocity vznikající při styku pokožky a textilie mohou být příjemné, jako pocit měkkosti, splývavosti nebo nepříjemné a dráždivé, jako tlak, pocit vlhkosti, škrábání, kousání, píchání, lepení apod. [1].

Senzorický komfort lze rozdělit na:

- *Komfort nošení*
- *Omak*

Komfort nošení oděvů zahrnuje [1]:

- povrchovou strukturu použitých textilií
- vybrané mechanické vlastnosti ovlivňující rozložení sil a tlaků v oděvním systému
- schopnost textilií absorbovat a transportovat plynnou, či kapalnou vlhkost s dopadem na své kontaktní vlastnosti (v tomto posledním bodě senzorický komfort souvisí s komfortem fyziologickým).

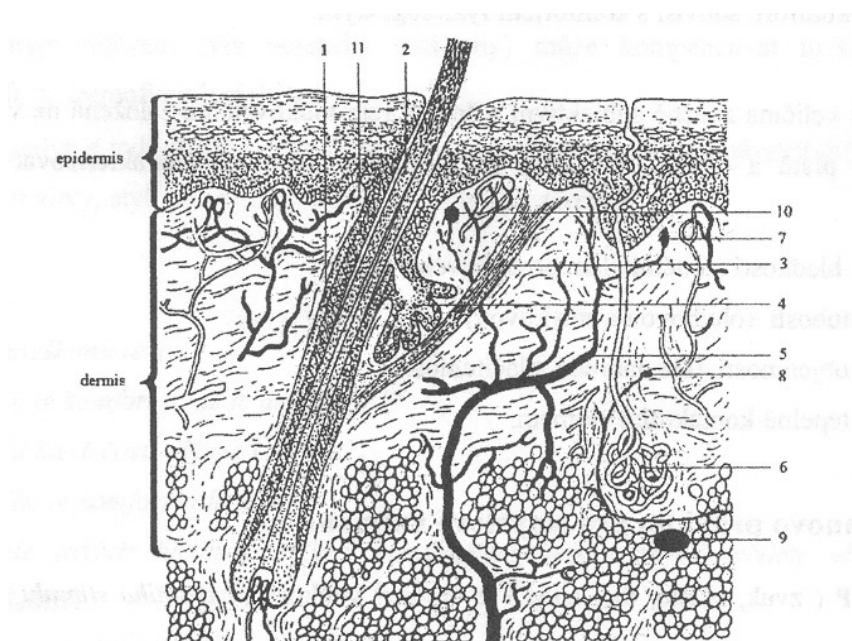
Omak lze zjednodušeně charakterizovat těmito vlastnostmi [1]:

- hladkostí (součinitel povrchového tření)
- tuhostí (ohybovou a smykovou)
- objemností (lze nahradit stlačitelností)
- tepelně-kontaktním vjemem

Omak je značně subjektivní veličina a špatně reprodukovatelná, založená na vjemech prostřednictvím prstů a dlaně [1].

Vnímání senzorického komfortu podkožními snímači (receptory)

Z obr.1 je patrné, že existují snímače pro tlak a bolest, ale žádné pro vlhkost (to je nahrazeno současným vnímáním pocitu chladu a tlaku) [1].



Obr. 1- Schématický obrázek lidské kůže [13].

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. vlasové pouzdro | 2. vlas |
| 3. hladké svalstvo | 4. tuková žláza |
| 4. kožní žíla | 6. potní žláza |
| 7. kožní receptory | 8. senzory vyšších teplot podle Ruffiniho |
| 9. Vater-Pacciniho senzory tlaku | 10. senzory nižších teplot podle Krause |
| 11. volné konce nervů | |

2.1.4. Patofyziologický komfort

Patofyziologický komfort může být způsoben přítomností alergizujících látek v textiliích. Přítomnost patofyziologických látek (chemické látky v pracích prostředcích, bakterie, plísňe v textiliích) může způsobit alergizující projevy pokožky [2].

2.2. Kůže a kožní orgány

Kůže je největším orgánem lidského těla. Měří celkem 1,8 až 2 metry čtvereční. Bez podkožního tuku kůže váží 3 až 3,5 kilogramu. S podkožním tukem dosahuje hmotnosti až 20 kilogramů. Na většině těla dosahuje kožní kryt síly přibližně jednoho milimetru a není na celém těle stejný. Nejsilnější, až 4 milimetry, je kůže na chodidlech, naopak nejtenčí je kůže na víčkách a na rtech, kde bychom neměřili více než půl milimetru [6].

Obecně je kůže na trupu silnější vzadu, než vpředu. Na hlavu a krk připadá 11 %, na trup 30 %, na horní končetiny 23 % a na dolní končetiny kolem 36 % [7].

2.2.1. Funkce kůže

Kůže chrání náš organismus nejen před mechanickými vlivy, ale i před infekcemi a slunečním zářením. Bez kůže bychom nic necítili, neboť se zde nachází sídlo hmatu. Vytváří se zde maz a pot. Právě pocení je jeden z obranných mechanismů, kterými tělo reaguje na přehřátí nebo stres [6].

2.2.2. Pocení (respirace)

Normální tělesná teplota je okolo 37 °C, existují individuální odchylky a kolísání v průběhu dne. Důležité však je, aby normální, základní teplota byla víceméně stálá. Stoupne-li teplota okolí příliš vysoko, vnitřní teplota se udržuje ztrátou tepla prostřednictvím potních žláz při kožní respiraci. Většina tepelných ztrát během dne je výsledkem pocení. Při něm dochází k výrazným ztrátám tepla na základě spotřeby tepla nutného k jeho odpaření. Při odpařování potu se využívá teplo a energie v kůži a kůže se ochlazuje. Proto se na kůži objeví pot, jakmile se příliš zahřejeme [8].

Pot se tvoří z tkáňového moku. Je složen hlavně z vody a chloridu sodného (NaCl). Při enormním pocení tedy nedochází jenom ke ztrátám tekutin, ale také ke ztrátám

chloridu sodného. Denní množství vytvořeného potu činí 1-10 litrů a je závislé na řadě faktorů (okolní teplota, vlastnosti oděvní vrstvy, stav organismu, přísun tekutin, atd.) [9].

Respirace jako tělesný chladicí systém pracuje nejefektivněji v přiměřeně suchém prostředí. Je-li současně vlhko a teplo, pot se neodpařuje a film potu na povrchu kůže zastavuje proces ochlazování. Proto má propustnost oblečení vliv na oděvní komfort [8].

2.2.3. Obsah vody v kůži

Obal našeho těla je současně velkou zásobárnou vody. Kůže mladého člověka obsahuje asi 60 % vody. Ve stáří se pak tato hodnota sníží asi na 30 %. S postupujícími léty tedy kůže ztrácí schopnost uchovávat vlhkost [6].

2.2.4. Složení kůže

Kůže je tvořena třemi hlavními vrstvami, kde každá má nezastupitelnou funkci [6]:

- pokožka
- škála
- podkožní vazivo

Pokožka:

Pokožka (epidermis) je tvořena z několika vrstev buněk. Zásadní význam má bazální (základní) vrstva buněk, těsně nad hranicí škály, která je schopná dělení. Prvnímu kontaktu se zevním prostředím je ovšem vystavena ještě další povrchová struktura kůže lipidový nebo lipoidní film. Lipidy jsou tuky, které tvoří významnou součást filmu. Nejsou však jeho jedinou složkou. Pokožka dále obsahuje např. pot, maz z mazových žláz a chemické látky, např. aminokyseliny, volné mastné kyseliny, kyselé produkty látkové výměny jako je třeba kyselina mléčná. Tyto látky zajišťují mírně kyselou reakci kožního povrchu [6].

Škála:

Střední vrstvu kůže tvoří škála (korium), která je tvořena různými typy vazových vláken spojených tmelovou substancí. Tato vrstva rozhoduje o pružnosti, mechanické

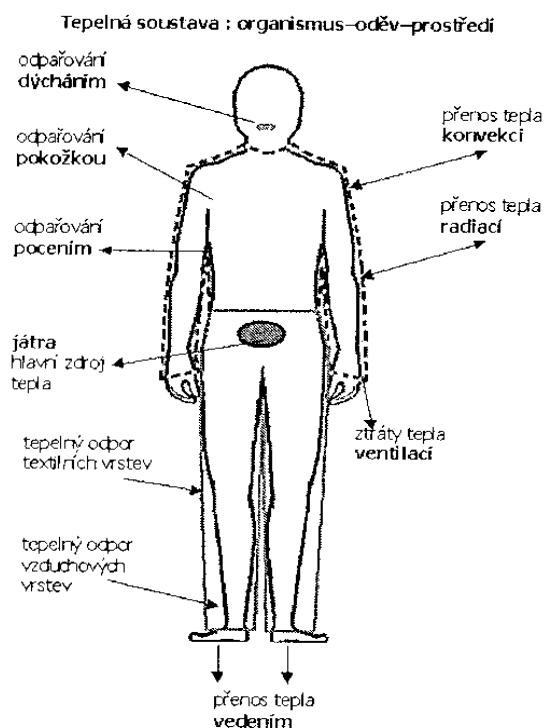
odolnosti a pevnosti kůže. Její součástí jsou cévy, nervová zakončení, díky kterým jsme schopni vnímat pocity, jako je teplo, chlad a bolest. Ve škále jsou zanořeny potní a mazové žlázy [6].

Podkoží:

Nejhlubší vrstvou kůže je podkožní tuková tkáň. Chrání hlouběji uložené orgány proti mechanickému poškození i proti teplotním vlivům. Kromě této izolační funkce je také energetickým zásobníkem. Organismus sem ukládá přebytky svých energetických zdrojů [6].

2.3. Tepelná bilance organismu

Lidské tělo je tepelný stroj, vytváří vlastní teplo, přijímá teplo z okolí a také teplo do okolí odvádí [1].



Obr. 2 – Lidské tělo jako tepelný stroj v interakci s prostředím [1].

Tepelná bilance organismu vyjádřená v jednotkách tepelného výkonu vztaženého na jednotku povrchu těla A , neboli v jednotkách tepelného toku q [$W \cdot m^{-2}$], je dána vztahem [1]:

$$\frac{(M - L)}{A_{Du}} \pm q_v \pm q_p \pm q_z - q_i - q_r - q_{pe} \pm q_a = 0 \quad (1)$$

$$\left(\frac{M_{\min} + L}{\eta - L} \right) = M - L \quad (2)$$

kde A_{Du} [m^2] je povrch lidského těla podle Duboise (v průměru $1,8 m^2$). M_{\min} [W] symbolizuje základní metabolický výkon a M [W] je celkový metabolický výkon. L [W] je pracovní výkon, η [%] účinnost, q_v [$W \cdot m^{-2}$] přenos tepla vedením (kondukcí - při chůzi či běhu činí méně než 5 % z celkových tepelných ztrát, avšak důležitý při sezení, či lezení), q_p [$W \cdot m^{-2}$] přenos tepla prouděním (konvekcí - prouděním vzduchu kolem povrchu oděvu nebo pokožky), q_z [$W \cdot m^{-2}$] přenos tepla zářením (radiací - dosahuje až 30 % z celkového tepelného toku), q_i [$W \cdot m^{-2}$] ochlazování nepatrným a neustálým odpařováním z kožních pórů (až $0,15 W \cdot kg^{-1}$ tělesné hmoty), q_r [$W \cdot m^{-2}$] ochlazování dýcháním s průtokem V_a , kdy dochází k přenosu tepla konvekcí na vnitřním povrchu plic (až $0,3 W \cdot kg^{-1}$ tělesné hmoty), q_{pe} [$W \cdot m^{-2}$] intenzivní ochlazování pomocí hlavních potních žláz, které je kontrolováno podvěskem mozgovým (ochlazování pomocí potních žláz v dlaních a chodidlech je částečně závislé na duševním stavu) a q_a [$W \cdot m^{-2}$] je změna akumulovaného tepla při náhlé změně teploty prostředí za dobu $\Delta\tau$.

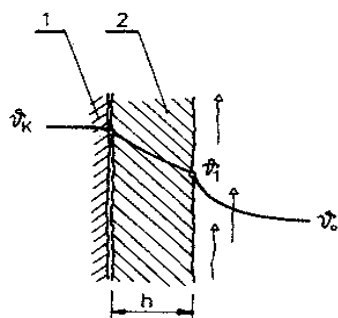
2.4. Přenos tepla mezi organismem a okolím

Ke sdílení tepla mezi organismem a okolím dochází následujícími způsoby [1]:

- vedením (kondukcí)
- prouděním (konvekcí)
- sáláním (radiací)
- odpařováním (evaporací)
- dýcháním (respirací)

2.4.1. Sdílení tepla vedením (kondukcí)

Spočívá ve vyrovnání teplot teplejší látky s látkou chladnější (okolí) – předávání kinetické energie. Dochází k němu v případě, že oděv těsně doléhá na pokožku a teplo odnímá kontaktním způsobem (Obr. 3). Rychlost sdílení tepla závisí na teplotě okolí, tloušťce vrstvy h [mm], množství statického vzduchu v textilií a vnějším pohybu vzduchu [1].



1 - pokožka

2 - textilní vrstva

v_k - teplota pokožky [°C]

v_o - teplota okolí [°C]

v_1 - teplota vnější strany povrchu materiálu [°C]

h - tloušťka textilní vrstvy [mm]

Obr. 3 - Přenos tepla kondukcí [2].

Teplo se přenáší podle **Fourierova zákona** tepelného toku [2]:

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } \vartheta \quad \left[J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \right] \quad (3)$$

Fourierův zákon vyjadřuje úměrnost mezi tokem tepla q [$W \cdot m^{-2}$], tepelnou vodivostí λ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] a teplotním gradientem $\Delta t / \Delta x$. Velmi důležitým vztahem při hodnocení tepelného komfortu je vztah pro tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] deskových materiálů, jako např. plošných textilií, tenkých vzduchových vrstev a jiných plošných materiálů o tloušťce h [mm] [1]:

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right] \quad (4)$$

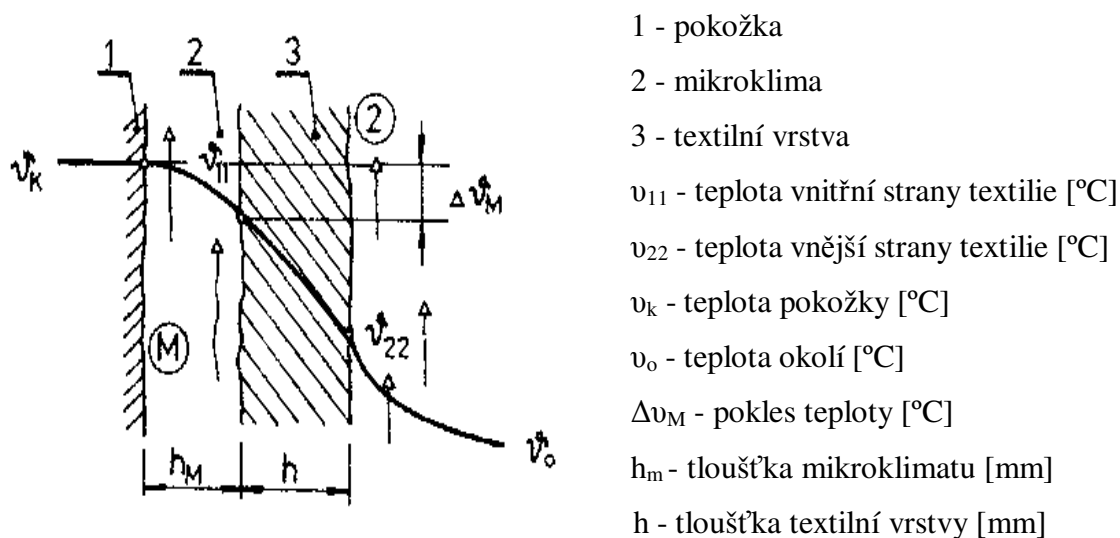
Tepelný odpor vzduchové vrstvy v oděvu dosahuje svého maxima pro $h=5$ mm.

Množství prošlého tepla Q_v [$J \cdot s^{-1}$] danou plochou S [m^2] je dáno vztahem [1]:

$$Q_v = -\lambda \cdot \text{grad } \vartheta \cdot S \quad \left[J \cdot s^{-1} \right] \quad (5)$$

2.4.2. Sdílení tepla prouděním (konvekci)

Mezi pokožkou a první oděvní vrstvou se nachází vzduchová mezivrstva (mikroklima - M), ve které dochází k proudění díky pohybu organismu v prostředí (Obr.4), transport tepla je tedy závislý na proudění vzduchu, dále na odhalení těla a rychlosti větru. Tepelné ztráty narůstají za větru [2].



Obr.4 - Přestup tepla prouděním [2].

Hodnota odvedeného tepla prouděním Q_p [$J \cdot s^{-1}$] je dána výrazem [2]:

$$Q_p = \alpha_p \cdot S \cdot [(v_k - v_{11}) + (v_{22} - v_o)] \quad [J \cdot s^{-1}] \quad (6)$$

kde α_p [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] je koeficient přestupu tepla, v_{11} [°C] teplota vnitřní strany textilie a v_{22} [°C] teplota vnější strany textilie. S [m^2] je plocha, kterou teplo prochází.

Ze vztahu vyplývá, že tepelné ztráty prouděním jsou jednak v mikroklimatu, jednak na vnější straně textilie [3].

2.4.3. Sdílení tepla sáláním (radiací)

Teplo je předáváno z pokožky do okolí a naopak je pokožkou přijímáno prostřednictvím infračerveného záření, které vydávají všechna tělesa (sluneční záření). Výdej tepla tímto způsobem je závislý na teplotě a vlhkosti okolí a na zahalení lidského těla. Ztráta tepla sáláním nastává, pokud je teplota organismu vyšší než je teplota okolí,

jinak dochází k přijímání tepla. Vychází ze **Stefan-Boltzmannova** zákona, podle kterého platí [2]:

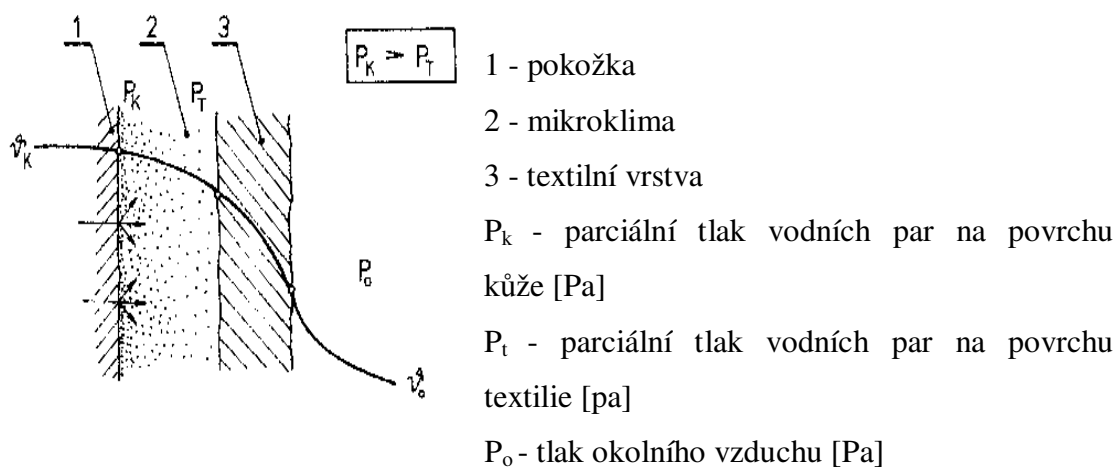
$$Q_s = \alpha_s \cdot S \cdot \left[\left(\frac{273 - \vartheta_k}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + \vartheta_0}{100} \right)^4 \right] \quad [J \cdot s^{-1}] \quad (7)$$

kde α_s [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] značí koeficient sálání, ϑ_k [$^{\circ}C$] teplotu pokožky a ϑ_0 [$^{\circ}C$] teplotu okolí.

2.4.4. Sdílení tepla odpařováním (evaporací)

Tepelné ztráty odpařováním převládají v podmínkách přehřátí organismu. Odparné teplo Q_o [$J \cdot s^{-1}$] je takové množství tepla, které odchází z kůže neznatelným pocením a je závislé především na měrném skupenském výparném teple a na rozdílu parciálních tlaků vodních par [2]:

$$\Delta p = p_k - p_o \quad [Pa] \quad (8)$$



Obr. 5 - Přestup tepla prouděním [2].

$$Q_o = \Delta i \cdot m_k \cdot S \cdot (p_k - p_o) \quad [J \cdot s^{-1}] \quad (9)$$

kde Δi [J] je měrné výparné skupenské teplo a m_k [$kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Pa^{-1}$] permeabilita kůže.

Pod oděvem není rozdíl partiálních tlaků tak veliký. Závisí na sorpčních a transportních vlastnostech všech vrstev textilií a proto tento způsob odvodu tepla je nejvyšší u neoblečeného organismu [2].

2.4.5. Sdílení tepla dýcháním (respirací)

Respirační odvod tepla Q_d [$J \cdot s^{-1}$] je realizován pomocí dýchacích cest. Jeho množství je dáno rozdílem množství vodních par vdechovaných a vydechovaných [3]:

$$Q_d = \Delta i \cdot (W_{ex} - W_a) \cdot \frac{1}{t} \quad [J \cdot s^{-1}], \quad (10)$$

kde W_{ex} [kg] značí množství vdechovaných vodních par, W_a [kg] množství vodních par vydechovaných, t [s] čas a Δi [J] měrné výparné skupenské teplo.

Všech těchto pět způsobů odvodu tepla z organismu se podílí na fyzikální termoregulaci a jejich suma se musí rovnat množství tepla, jenž vyrobí organismus metabolickými pochody Q_M (metabolismus je látková výměna) [3].

$$Q_M = Q_v + Q_p + Q_z + Q_o + Q_d \quad [J \cdot s^{-1}] \quad (11)$$

Velikost jednotlivých objemů je závislá na činnosti organismu, oblečení a na vnějších klimatických podmínkách [3].

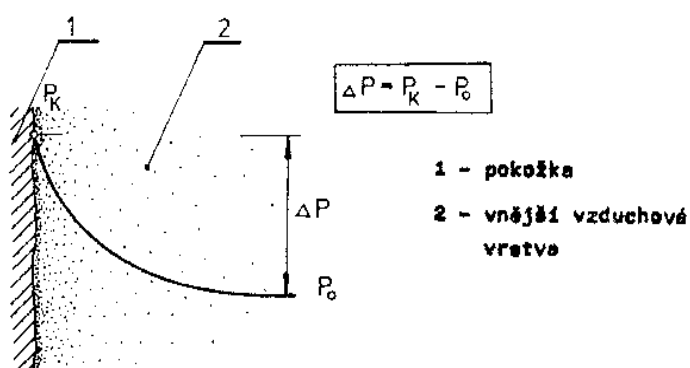
2.5. Transport kapalné vlhkosti

Při procesu tepelné regulace lidského organismu je odvádění tepla z pokožky provázené samovolným pocením. Odpařování potu může v závislosti na různých zátěžových situacích vzrůst i na takovou míru, že může být pro zajištění tepelné rovnováhy lidského organismu důležitějším faktorem, než je samotný transport tepla vedením. Odpaření 1 litru potu odebere tělu přibližně 2,4 MJ tepla. [2].

Tab. 1 - Hustota potních žláz [3].

část těla	Hustota potních žláz
čelo	3,6
rameno	1,5
předloktí	1,5
hrudník, záda	1,7
hýždě	1,9
stehno	2,5
lýtka	2,3

Produkce potu není na všech místech těla stejná (viz. Tab. 1). Je realizována jednak sekrecí potních žláz - diskontinuálně, jednak transepiderální difúzí - kontinuálně, což jsou množství proti případu zhruba 15x nižší. Hustota potních žláz (Tab. 3), spolu s transepiderální difúzí předává do okolí při vnitřních teplotách organismu do 34 °C přibližně 0,03 litrů potu za jednu hodinu. Nad touto teplotou až 0,4 litrů za hodinu. To je možné jednak při vysoké teplotě okolí nebo při vysoké zátěži organismu, kdy dochází ve svalech ke zvýšenému metabolismu. Teplota organismu se tím snižuje do optimálních mezí pro činnost látkové výměny. Předpokladem je, aby okolní prostředí bylo schopno toto množství vodní páry přijmout, tj. aby rozdíl parciálních tlaků určující rychlost odvodu vlhkosti byl co nejvyšší (Obr. 6) [3].



Obr. 6 - Křivka rychlosti odvodu vlhkosti [2].

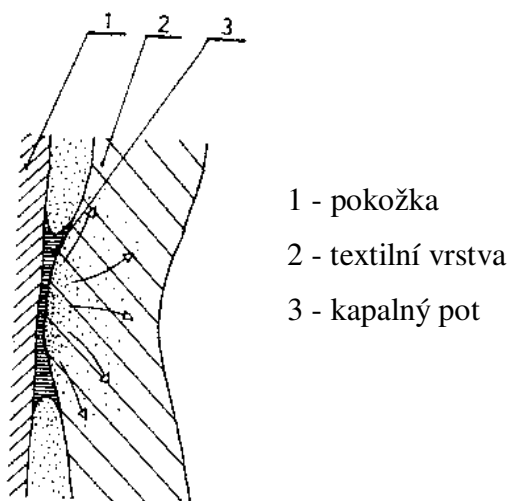
Snižuje-li se tento rozdíl, odvod vlhkosti klesá a ochlazovací účinek systému mizí. To vše za předpokladu neoblečeného organismu. Situace je o něco složitější u

organismu oblečeného, kdy tento systém pracuje podle jiných principů a kdy je vlhkost z povrchu kůže odváděna několika způsoby [2]:

- kapilárně
- migračně
- difúzí
- sorpčně

2.5.1. Kapilární odvod potu

Spočívá v tom, že pot v kapalném stavu je odsáván první textilní vrstvou (Obr.7) a jejími kapilárami vzlíná do její plochy všemi směry, popřípadě je stejným principem transportován do dalších vrstev (knotový efekt). Kůže ze strany textilie je smáčena odsávaným potem a intenzita prostupu je dána parciálním spádem tlaků Δp [Pa]. Kapilární odvod je závislý na smáčecí schopnosti textilie (úpravou může být změněna), na povrchovém napětí vláken a potu. U směsových textilií je rozhodující podíl vláken s vyšší a nižší smáčivostí. Syntetická vlákna jsou lépe smáčitelná než přírodní vlákna [2].



Obr. 7 - Kapilární odvod vlhkosti [2].

Kapilární tlak ΔP , způsobující tok kapalné vlhkosti obecně od velkých pórů o efektním poloměru R k malým pórům odpovídajícím poloměru R , je přímo úměrný

povrchovému napětí vody γ a funkci cosinus kontaktního úhlu Θ (charakterizující smáčecí schopnost této textilie), dle rce.[1]:

$$\Delta P = 2\gamma \left[\left(\frac{p_r \cdot \cos \Theta_r}{r} \right) - \left(\frac{p_r \cdot \cos \Theta_r}{R} \right) \right] \quad (12)$$

kde p_r představuje zvětšení vnitřního povrchu kapilárních kanálů.

Jestliže bylo dosaženo nějaké povrchové úpravy vláken, které zvyšují drsnost vláken, jako například laserová úprava, kapilární tlak se zvýší a proto takto upravené látky vykazují vyšší knotové vlastnosti.

Pro dosažení intenzivního odvodu vlhkosti musí být struktura příze kompaktní a prostor mezi speciálně tvarovanými vlákny co nejmenší. Současně musí být adheze mezi kapalinou a vláknem dostatečně malá, aby výsledný silový účinek preferoval pohyb vlhkosti.

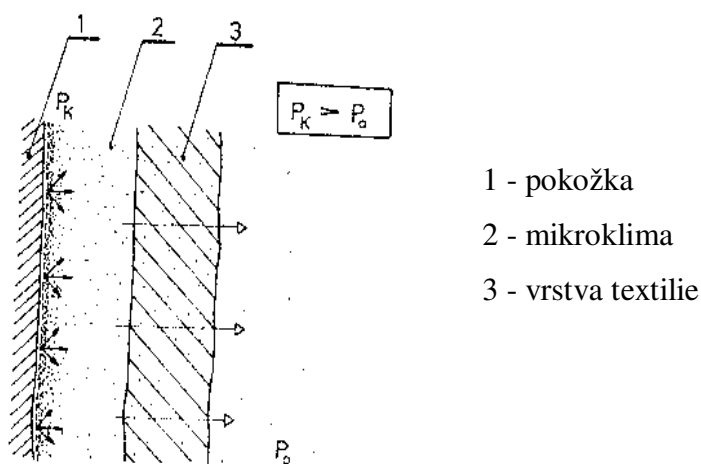
Aby vlhkost přestoupila z pokožky do v podstatě hydrofobní kontaktní vláknenné vrstvy, musí spolupůsobit vhodná dynamická síla, vytvořená vibracemi oděvu při tělesném pohybu, nebo musí být kontaktní povrch chemicky aktivizován vhodnou povrchově aktivní látkou (smáčedlem). Tato úprava bývá nejčastěji dočasná. Trvalé úpravy lze dosáhnout např. úpravou povrchu ionizujícím zářením [1].

2.5.2. Migrace potu (vody)

Oděvní vrstva se nachází na teplotním spádu mezi teplotou těla, resp. mikroklima a teplotou okolí, proto za těchto podmínek může dojít ke kondenzaci vlhkosti na povrchu vláken. Tato voda je odvedena do kapilár nebo migruje na povrchu vláken. K migraci dochází zároveň u vody, která byla do textilie dopravena kapilaritou (tedy kapalinou). Nastává u vláken, která nemají schopnost nasákavosti - nepřijímají vodu do své struktury [2].

2.5.3. Difúzní prostup vlhkosti

Z povrchu kůže přes textilií realizován prostřednictvím pórů, které svojí velikostí a tvarem se účastní na kapilárním odvodu (Obr. 8). [2].



Obr. 8 - Difúzní prostup vlhkosti [2].

Vlhkost prostupuje textilií směrem nižšího parciálního tlaku vodní páry. Oděv je složen z několika vrstev, tyto vrstvy nemají stejný difúzní odpor a dochází ke zpomalování tohoto prostupu. Vliv vlákenné suroviny, z níž je textilie vyrobena, se tu neprojevuje, pokud vlákna nemění svoji geometrii, např. následkem bobtnání. Difúzní odpor, který klade textilie průniku vodní páry, je dán výrazem [2]:

$$R_{dif} = \frac{k}{m} \cdot \Delta p \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (13)$$

kde **k** je konstanta převod Torr – Pa, **m** [kg] hmotnost a **Δp** [Pa] parciální rozdíl.

Základní vztah pro přenos vodních par je pak modifikací **Fickova zákona** pro stacionární děj [2]:

$$M_{pf} = S \cdot \frac{v}{R_p \cdot T} \cdot \Delta p \quad (14)$$

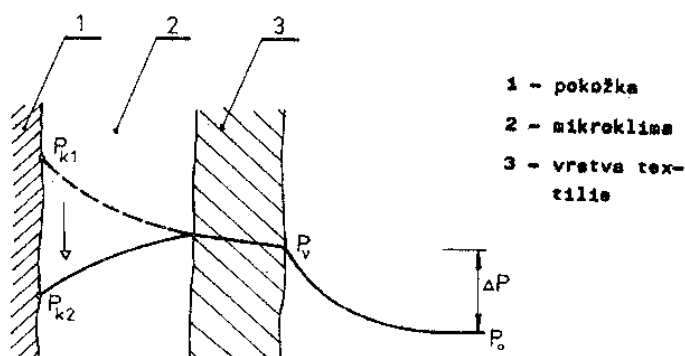
kde S [m^2] je plocha, v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] rychlostní koeficient přenosu páry, R_p [$\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$] plynová konstanta vodní páry, T [K] absolutní teplota a Δp [Pa] parciální rozdíl.

2.5.4. Sorpční proces

Sorpční proces předpokládá nejprve vznik vlhkosti či kapalného potu do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí ve struktuře vlákna a následné navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Tento proces je nejpomalejší a je podmíněn použitím textilie alespoň částečně obsahující sorpční vlákna [1].

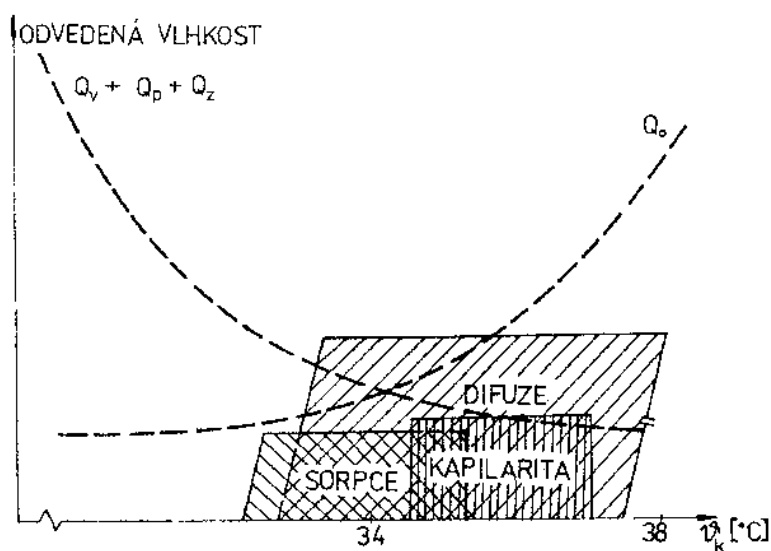
Souhrnně lze říct, že všechny čtyři odvoody vlhkosti se na procesu účastní současně. Způsob kapilární odvádí pot jako kapalinu, způsob difúzní, migrační a sorpční jako kapalinu, či vodní páru, jejíž hromadění v mikroklimatu způsobuje pocit diskomfortu - pokožka je smáčena množstvím neodvedeného potu. Pro snášenlivost organismu a pocit komfortu je nejvhodnější kombinace způsobu difúzního a sorpčního. Optimální hodnotu jednotlivých propustností lze dosahovat strukturou jednotlivých textilních vrstev, přičemž vrstvy naléhající na pokožku musí odvádět největší objem vlhkosti, větší než vrstvy vnější. Rychlý odvod vlhkosti by měl za následek nadměrné ochlazování povrchu těla, proto je nutná kombinace difúzního a sorpčního odvodu vlhkosti, kde sorpční působí jako tlumící mechanismus [2].

Druhá stránka těchto odvodů je jejich reverzibilita, tj. jak rychle a za jakých podmínek je schopna textilie nasycená vodou ji uvolnit. Pokud tento proces probíhá na těle, je základem snížení produkce potu, tj. aby parciální tlak z hodnoty P_{k1} klesl na P_{k2} a aby Δp byl největší mezi vnější plochou textilie P_v a okolím P_o (Obr.9) [2].



Obr.9 - Rozdíl parciálních tlaků [2].

Způsob sorpční pracuje nejvíce v úzké oblasti optima, kapilární a difúzní při vyšších produkcích potu (Obr. 10). Po sorpčně nasycených vláknech nastupuje difúze a kapilární odvod. V případě nesorpčních vláken jsou realizovány jen podíly kapilární, migrační a difúzní. Schéma zobrazuje podíly jednotlivých odvodů vlhkosti jako funkce teploty kůže [2].



Obr. 10 - Podíly jednotlivých odvodů vlhkosti [2].

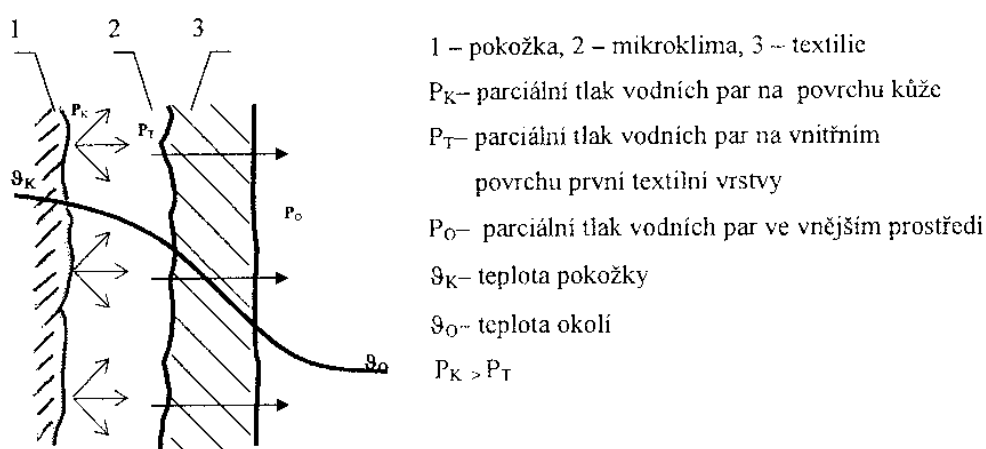
Úpravou, strukturou a složením jednotlivých komponent lze vytvořit takovou textilií, která by měla pro odvod vlhkosti ty nejlepší podmínky [2].

2.6. Transport plynné vlhkosti z povrchu lidského těla

Vlhkost ve formě vodní páry může být v oděvních systémech, podobně jako teplo, přenášena vedením a prouděním. Hnací silou je zde gradient mezi koncentrací nasycené páry nebo nasyceným parciálním tlakem P_{wsat} [Pa] na povrchu lidské pokožky a aktuální koncentrací vodní páry jejím parciálním tlakem P_{we} [Pa] v okolním prostředí. Opačný poměr těchto parametrů násobených 100x nazýváme relativní vlhkost ϕ [%]. Při dostatečném gradientu výše uvedené hnací síly se oparem vlhkosti m^* [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] z povrchu kůže odvede tepelný tok q [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] dle vztahu [1]:

$$q = m \cdot L \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (15)$$

kde L [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$] značí výparné teplo vody, které při $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ má hodnotu $2,4\text{ MJ/kg}$. Toto velmi vysoké výparné teplo umožňuje dosáhnout jisté úrovně termofyziologického komfortu, dokonce i při vysoké teplotě vzduchu, pokud je vzduch dostatečně suchý, tj. pokud je relativní vlhkost ϕ [%] nižší než 60-70 %. Když relativní vlhkost vzduchu převyšuje 90 %, pak žádný stav komfortu při teplotě vzduchu nad $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ není dosažitelný. Pokud je oděvní systém uzavřen, mezery mezi textilními vrstvami malé a oblek málo prodyšný, pak se vodní pára v tomto systému přenáší převážně vedením (difúzí) [1].



Obr. 11 - Přenos vlhkosti vedením mezi kůží a okolím [1].

Množství páry m^* [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] přenášené vzduchovou mezerou o tloušťce h [mm] je úměrné difúznímu koeficientu D_p [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$] a gradientu parciálního tlaku $\Delta P_{\text{parc}} / \Delta x$ podle 1. Fickova zákona [1]:

$$m^* = -D_p \cdot \frac{\Delta P_{\text{parc}}}{\Delta x} = -D_p \cdot \frac{(P_{\text{WSAT}} - P_{\text{we}})}{h} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] \quad (16)$$

Namísto gradientu tlaku vodní páry může být také použit gradient koncentrace hmotnosti C [$\text{kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{kg}$ vlhkého vzduchu] ve výše zmíněné rovnici [1]:

$$m^* = -D_c \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x} = -D_c \cdot \frac{(C_{\text{WSAT}} - C_{\text{we}})}{h} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] \quad (17)$$

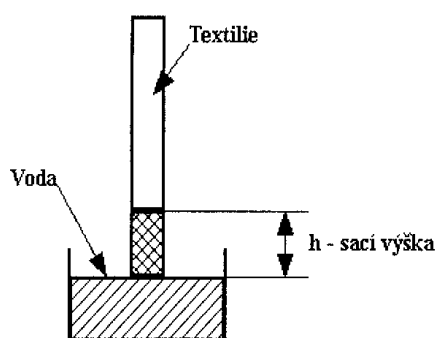
Rozdíl mezi těmito tvary difúzního koeficientu je dán stavovou rovnicí plynu, obsahuje molární koncentraci vodní páry M_w , obecnou plynovou konstantu R a absolutní teplotu vodní páry T [1]:

$$D_p = \frac{D_c \cdot M_w}{RT} \quad (18)$$

2.7. Vlastnosti plošných textilií

2.7.1. Vzlínavost

Vzlínavost nastane, jakmile kapalina vnikne do struktury textilie, byť jen částečně. Kapilárními silami vniká mezi vlákna a od místa zdroje se šíří plošnou textilií [3].



Tato metoda používá vzorek umístěný svisle a namočený jedním koncem do obarvené kapaliny. Hloubka ponoření konce vzorku je 2 mm. Měří se sací výška h [mm], dosažená v předepsaných časových intervalech. Sací výška zpočátku narůstá rychle, při delších časech však dojde k rovnovážnému stavu, kdy se h stabilizuje [4].

Obr. 12 - Měření vzlínavosti [4].

Kapalina vzlíná do takové výšky, kdy je v rovnováze kapilární odvod vody z nádoby a jejím odpařováním z povrchu textilie do okolí, tj. směrem k nižšímu parciálnímu tlaku okolí. V této vertikální poloze působí proti kapilárním silám také gravitace [5].

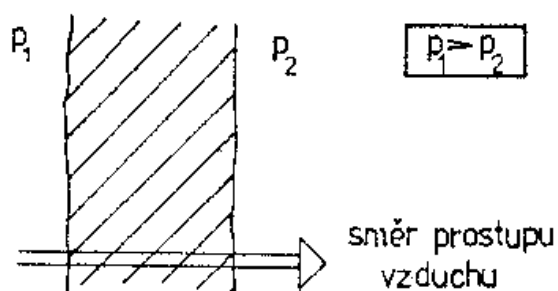
2.7.2. Propustnosti

Pod pojmem propustnosti či prostupu máme na mysli průnik určitého média přes vrstvu textilie, tj. přes její plochu. Ve fyziologii odívání má význam zejména průnik vlhkosti, teploty, eventuálně vody. Prostupy (transporty) mohou být obecně realizovány v obou směrech (zpravidla převažuje směr od organismu do okolního prostředí). Jak

velký bude prostup záleží na velikosti tlakového gradientu Δp . Téměř vždy se jedná o prostu kombinovaný. To znamená, že k prostupu vlhkosti se téměř vždy přidruží prostu tepla, nebo vzduchu. To vystavuje oděvní vrstvy námaze, dochází v ní ke změnám a proces transportu má zpravidla nestacionární charakter [2].

2.7.2.1. Propustnost vzduchu (prodyšnost)

Jedná se o případ, kdy plošnou textilií prostupuje vzduch, což se děje na principu rozdílných barometrických tlaků na obou stranách textilní vrstvy [2].



Propustnost vzduchu, označována jako prodyšnost, je pak vyjádřena jako rychlost proudění vzduchu danou plochou textilie [2].

Obr. 13 - Prostup vzduchu textilií [4].

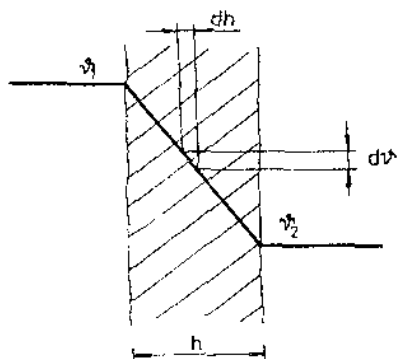
Prodyšnost se počítá podle následujícího vzorce [1]:

$$R = \frac{q_v}{S} \cdot 167 \quad [\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (19)$$

kde R [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$] je prodyšnost, q_v [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$] průměrný objem vzduchu zjištěný na plováčkovém průtokoměru, S [cm^2] zkušební plocha vzorku. Násobek **167** přepočítává faktor z l min^{-1} na cm^2 , na milimetry za sekundu [2].

2.7.2.2. Tepelná propustnost

Při stanovení množství prošlého tepla vycházíme ze zásady šíření tepla homogenní vrstvou, ve které je definován gradient teploty jako hodnota tepelného spádu určující rychlost proniku [2].



$$\text{grad } \vartheta = \frac{d\vartheta}{dh} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{h} \quad [m^{-1} \cdot ^\circ C] \quad (20)$$

Obr. 14 - Prostup tepla textilií [2].

Šíření tepla jde směrem záporného gradientu. Tepelný tok je potom [2]:

$$\phi = -\lambda * \text{grad } \vartheta [Js^{-1} * m^{-2}] \quad (21)$$

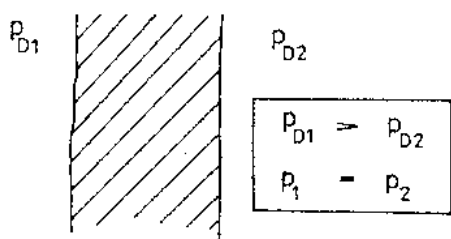
kde $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ je měrná tepelná vodivost.

Je-li plocha textilie, jíž teplo prostupuje S , pak celkové množství prošlého tepla Q bude dáno vztahem [2]:

$$Q = \phi \cdot S \cdot t \quad [J] \quad (22)$$

2.7.2.3. Propustnost vodních par

Tato charakteristika je definována jako prostup vodní páry na základě rozdílných parciálních tlaků, jež jsou na obou stranách plošné textilie [2].



p_{D1} - parciální tlak na povrchu pokožky [Pa]

p_{D2} - parciální tlak na povrchu textilie [Pa]

Obr. 15 - Propustnost vodní páry [2].

Pod oděvem (v mikroklimatu) není rozdíl těchto tlaků tak velký, proto prostup závisí na sorpčních a transportních schopnostech jednotlivých oděvních materiálů. Propustnost vodních par dále závisí na prodyšnosti (pórovitosti) textilie, na dostavě (hustotě) tkaniny, popř. pleteniny, vazbě, povrchové úpravě, konstrukčním řešení oděvu, atd. [2].

2.8. Metody a přístroje na měření propustnosti vodních par plošnou textilií

V současnosti jsou kladeny velké nároky na oděvní komfort. Velký vliv na pocit pohodlí má schopnost materiálu odvést pot z povrchu pokožky a následně schopnost povrchové vrstvy tento pot ve formě páry propustit do okolního prostředí. Proto je věnována schopnostem propustnosti oděvních vrstev velká pozornost.

Na měření propustnosti vodních par existuje několik metod a přístrojů, které jsou popsány v následujících kapitolách.

2.8.1. Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošnou textilií ČSN_800855 (gravimetrická metoda)

Měření spočívá v upevnění kruhového vzorku textilie na misku obsahující siligel, zvážení misky se vzorkem (G_0) před expozicí v klimatizační skříni. Zvážení (G_1) po šesti hodinové expozici (uplynutí doby τ) a výpočtu relativní propustnosti P_{rel} dle vztahu [1]:

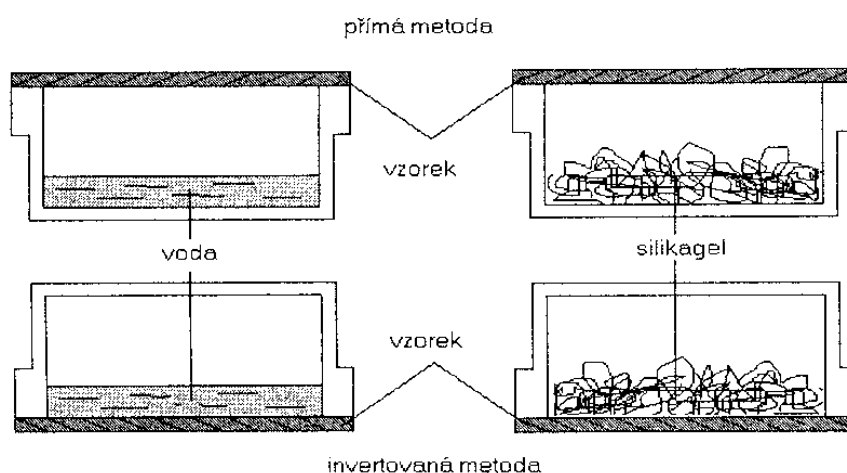
$$P_{rel} = \frac{(G_1 - G_0)}{G_0} \quad [\%] \quad (23)$$

nebo také propustnost absolutní [1]:

$$P_{abs} = \frac{(G_1 - G_0)}{S} \cdot \tau \quad \left[\frac{kg}{m^2 \cdot hod} \right] \quad (24)$$

Nevýhodou metody je zdlouhavost měření a nízká přesnost, daná časově nelineární sorpcí vysoušedla. Proto se od této metody upouští, podobně jako od metody přímé, kde

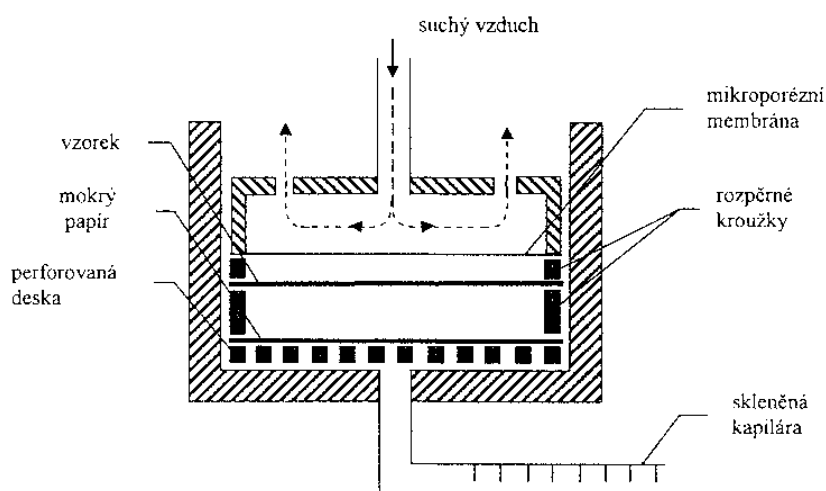
se vážením zjišťuje úbytek vody v misce překryté vzorkem textilie a vystavené proudu vzduchu o rychlosti $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [1].



Obr. 16 - Gravimetrické metody měření propustnosti textilií pro vodní páry [1].

2.8.2. Metoda DREO

Tuto metodu navrhli *Farnworth, Van Beest a Dolhan*. Vzorek je upevněn na podložku mezi dvě polopropustné vrstvy. Pod spodní vrstvou je voda a přes vrchní vrstvu proudí suchý vzduch. Spodní vrstva chrání, odděluje vzorek od vodní hladiny a vrchní vrstva před průnikem vzduchu. Ztráta vody není určována vážením, ale odečítána na stupnici skleněné kapiláry. Měření se provádí po dobu 15 minut [1].



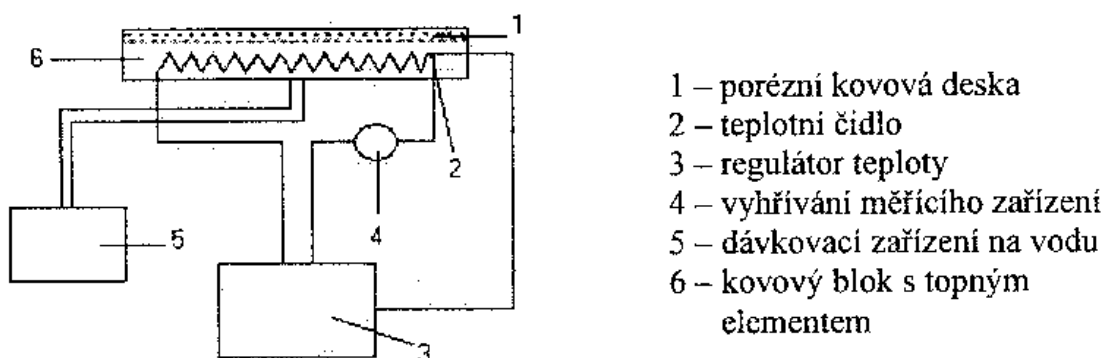
Obr. 17 - Farnworthův difuzimetr [1].

2.8.3. Stanovení parametrů termofyziologického komfortu pomocí SKIN MODELU

Základem přístroje je vyhřívaná a zvlhčovaná porézní deska označovaná jako „model kůže“ sloužící k simulaci procesů přenosu tepla a hmoty, ke kterým dochází mezi lidskou pokožkou a okolím. Měření zahrnující jeden nebo oba přenosy se mohou provádět buď separátně nebo při měnících se vnějších podmínkách, zahrnujících kombinaci různých teplot, relativní vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu. Naměřené hodnoty mohou tedy odpovídat rozdílným ustáleným i proměnlivým okolním podmínkám nošení oděvu [1].

2.8.3.1. Zkouška za stacionárních podmínek

Zkušební vzorek se umístí na elektricky vyhřívanou desku o teplotě 35 °C obtékanou vzduchem proudícím paralelně s jeho povrchem desky o rychlosti $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a teplotě 20 °C (při měření tepelného odporu), nebo 35 °C (při měření propustnosti pro vodní páry). Po dosažení ustálených podmínek celého systému (což běžně trvá i několik hodin) se měří vhodným přístrojem (elektrickým wattmetrem) příkon vytápěné desky [1].

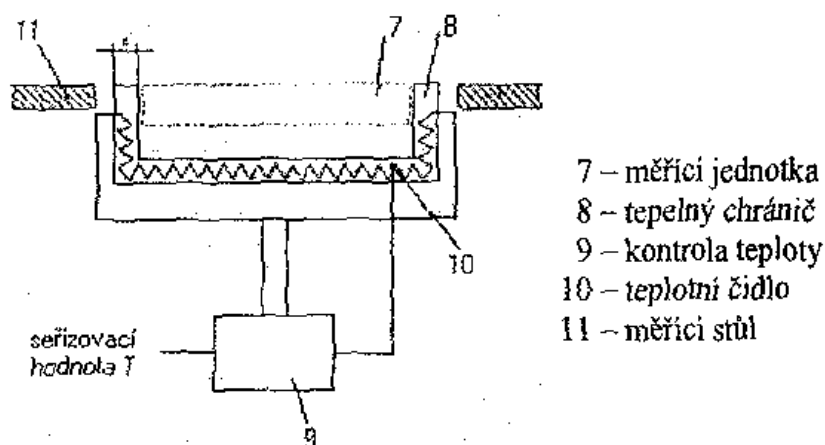


Obr. 18 - Měřicí jednotka s kontrolou teploty a přívodem vody [1].

Při určování propustnosti textilie pro vodní páry je vyhřívána porézní deska pokryta celofánovou membránou propouštějící vodní páry, ale nepropouštějící vodu. Voda přiváděná k vyhřívané desce se odpařuje a prochází membránou ve formě páry, takže zkušební vzorek nepříjde do kontaktu s vodou. V důsledku odparu, jehož intenzita je přímo úměrná propustnosti textilie pro páru, teplota desky má tendenci klesat. Tepelný příkon přiváděný do desky s cílem udržovat původní teplotu desky 35 °C., je pak mírou

propustnosti textilie pro páru. Aby při měření tohoto příkonu byly sníženy tepelné ztráty do okolí, je porézní měřicí deska ze stran i ze zdola obklopena elektronicky stabilizovanou izotermní plochou [1].

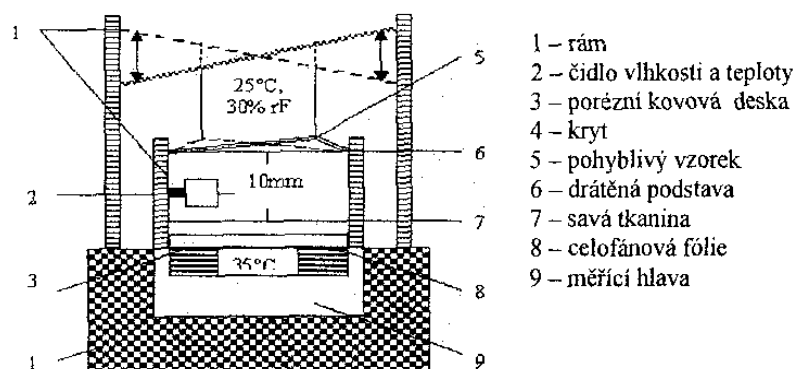
Nevýhodou tohoto způsobu měření tepelného příkonu a tedy i termofyziologických vlastností textilií je vysoká tepelná setrvačnost celého zařízení. Jedno měření pak může trvat i více než 1 hodinu. Během této doby často dochází ke kondenzaci vlhkosti v samotném vzorku. Výsledek pak bývá zkreslen [1].



Obr. 19 - Vytápěný ochranný kryt pro snížení tepelných ztrát porézní měřicí desky [1].

2.8.3.2. Zkouška za nestacionárních podmínek

Touto zkouškou se pomocí SKIN MODELU měří regulační účinek z parní fáze, který určuje komfort nošení textilií nejbližších pokožce za podmínek intenzivního pocení, kde pot se však ještě z potních kanálků kůže stačí vypařit. Tento děj lze simulovat pomocí hydrofilní tkaniny umístěné na porézní vyhřívané desce a zavlhčené 4 cm³ vody, která se odpařuje. Měřicí čidla ve vzduchovém prostoru mezi porézní deskou a vzorkem měří časový průběh teploty a vlhkosti podle nastaveného režimu impulsů pocení [1].



Obr. 20 - Model pokožky pro měření regulačního účinku z parní fáze [1].

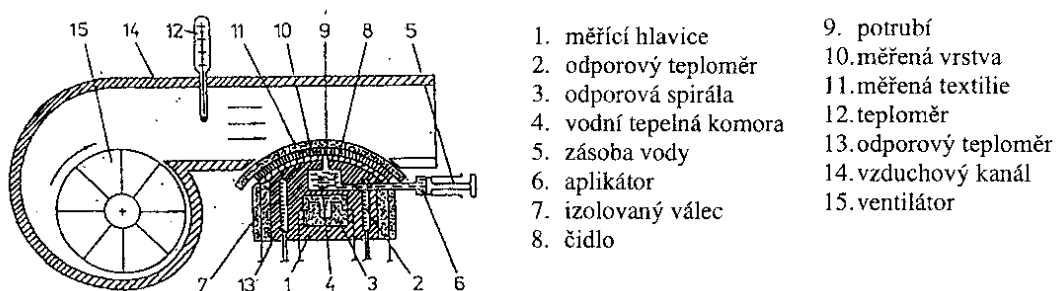
Aby byl respektován vliv konvence v mikroklimatu dané pohybem těla nositele, může se vzorek navíc rytmicky pohybovat pomocí elektricky poháněných nitových tahů [1].

2.8.4. PERMETEST

Přístroj PERMETEST má dobré dynamické vlastnosti, dovoluje provést měření propustnosti během 2-5 minut. Princip měření spočívá v tom, že tepelný tok bez vložení textilie je úměrný množství vlhkosti vypařené ze zvlhčené pokožky při dané teplotě pokožky a proudícího vzduchu. Tato teplota představuje maximum odpaření a přístrojově 100 % propustnosti při dané vlhkosti a teplotě okolního prostředí. Výsledkem zkoušky jsou hodnoty relativní propustnosti vodních par materiálem.

Přístroj se skládá z měřicí hlavičky, která je spojena se vzduchovým kanálem připojeným k ventilátoru. Měřicí hlava obsahuje izolovaný měděný blok a elektrické zařízení (odporová spirála a odporové teploměry) umožňující zahřátí na požadovanou teplotu. Tyto části jsou připojeny na regulátor teploty. Senzor slabého toku je připojen k horní části bloku a je pokryt vodou. Měřená textilie je vložena na distanční proužek, který je umístěn okolo hlavičky a který udržuje vzdálenost textilie od vrstvy vody, umístěné na měřicí hlavičce [2].

Další systém v měřicí hlavičce je zásobárna vody, sestávající se z aplikátoru, vodní tepelné komory a potrubí, kterým voda prochází přes čidlo do měřené vrstvy. Měřicí hlavička je vytápěna na zvolenou teplotu, čímž lze simulovat podmínky, které existují při používání textilie. K simulaci skutečných podmínek při pocení nositele slouží dávkovač aplikátoru. Voda vstupující do přístroje má stejnou teplotu jako okolní prostředí [2].



Obr. 21 - Schéma přístroje PERMETEST [2].

Technické parametry přístroje PERMETEST a popis měření na tomto přístroji je uveden v experimentální části diplomové práce (viz kapitoly 3.2.1.1. a 3.2.1.2.).

2.9. Nové zařízení a principy usnadňující hodnocení tepelného komfortu oděvů.

2.9.1. Testovací zařízení - potící torzo

Torzo je válec o velikosti lidského trupu. Jednotlivé vrstvy materiálu jsou modelovány podobně jako lidské tělo, tj. pokožka, podkoží, tuková vrstva a jádro. Vrstvy jsou vyrobeny z kompaktního teflonu, polyethylenu, polyamidu a aluminia. Tyto materiály mají podobné tepelné kapacity a tepelné vodivosti jako příslušné vrstvy lidského těla. Torzo obsahuje 36 potních trysek. Válec se ohřívá na teplotu lidského těla pomocí topných folií. Pro určení teplot v jednotlivých vrstvách je na celém torzu umístěno 20 čidel. Pro snížení tepelných ztrát je torzo obklopeno tepelnými kryty. Torzo může být provozováno za konstantní teploty nebo při konstantním příkonu a je umístěno na přesných vahách pro stanovení odpařeného a kondenzovaného množství vody. Přístroj byl vyvinut ve výzkumné laboratoři EMPA ve Švýcarsku [1].

2.9.1.1. Uspořádání testu

Potící torzo je umístěno vertikálně do klimatické komory a vystaveno proudu vzduchu o rychlosti $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vodní nádrž pro simulaci potu je umístěna na váze mimo klimatickou komoru. Na povrch torza jsou přiloženy zkoušené vzorky a systém je

uzavřen vnějším pláštěm. Testy se provádí při dvou rozdílných pracovních zatížení 350 a 500 W. Měření příkonu trvá 4 hodiny a je rozděleno do následujících fází [1]:

- První fáze (suchá tepelná izolace): 1 hodina při konstantní teplotě povrchu torza (bez pocení, odpovídající 100 W základního metabolismu člověka za klidu).
- Druhá fáze (vysoká aktivita s uvolňováním potu): ½ hodiny pocení s přibližně 75 g na torzo a výhřevností 110 W (odpovídající přibližně 500 W tepelné ztráty člověka a uvolnění potu 700 g na člověka).
- Třetí fáze (odpočinek): 1 hodina při konstantním příkonu 24 W, bez pocení (odpovídá přibližně 100 W tepelné ztráty člověka při odpočinku).
- Čtvrtá fáze (vysoká aktivita a uvolňováním potu): ½ hodiny pocení s přibližně 75 g na torzo a výhřevnost 110 W (odpovídající 500 W tepelné ztráty člověka při odpočinku).
- Pátá fáze (odpočinek, sušící fáze): 1 hodina při konstantním příkonu 24 W, bez pocení (odpovídající 100 W ztrátě tepla člověka při odpočinku).

2.9.2. Tepelný manekýn

Tepelný manekýn podobně jako vyhřívané torzo nahrazuje lidské tělo tím, že splňuje ty nejzákladnější termoregulační funkce a na rozdíl od torza v některých případech je schopen i omezeného pohybu. Jedná se o tepelný stroj rozdělený až na 17 nezávislých tepelných segmentů, které udržují (pomocí PC řízení) své povrchové teploty na průměrné teplotě 33 °C a které umožňují přesné měření elektrického příkonu \mathbf{P} [W], který je potřeba pro věrnou simulaci rozdělení tepla v lidském těle. Z těchto hodnot PC vypočítá úroveň tepelného toku \mathbf{q}_i odváděného do okolí [1].

Nejdříve budou tepelné toky \mathbf{q}_{in} pro neoblečeného manekýna změřeny a použity pro výpočet vnějšího odporu těla \mathbf{R}_{EN} bez vlivu oděvních vrstev [1]:

$$R_{EN} = \frac{(t_{si} - t_E)}{q_{N,i}} \quad (25)$$

V dalším kroku je manekýn oblečen. Celkový tepelný odpor $R_{TOT,i}$ bude stanoven jednoduchým způsobem [1]:

$$R_{TOT,i} = \frac{(t_{Si} - t_E)}{q_{TOT,i}} \quad (26)$$

Rozdíly mezi oběma měřeními představují požadované hladiny odporu jednotlivých oblečení $R_{TOT,i}$ [1]:

$$R_{CL,i} = R_{TOT,i} - R_{EN,i} \quad (27)$$

V roce 1999 L. Hes navrhl použít v dalším kroku také přístroj ALAMBETA pro stanovení součtu hodnot tepelných odporů navrstvených částí oděvů $R_{G,i}$, pokrývající povrch tepelného manekýna bez vzduchových mezer mezi jednotlivými segmenty. Rozdíl mezi $R_{CL,i}$ a $R_{G,i}$ představuje tepelný odpor vzduchových mezer v oděvním systému, odpovídající jednotlivým segmentům [1]:

$$R_{A,i} = R_{CL,i} - R_{G,i} \quad (28)$$

Účinek propustnosti vodní páry částí oděvu na oděvní komfort nemůže být stanoven přímo pomocí popsaného tepelného manekýna a příslušnými postupy. Procesy přenosu tepla a páry jsou analogické. Proto, pokud známe průměrnou tloušťku vzdušných mezer a umíme stanovit propustnost jednotlivých částí oděvu pro vodní páru (např. pomocí přístroje PERMETEST), je relativně snadné vypočítat celkový odpor oděvu pro vodní páru, podle rovnice [1]:

$$TK_{celkový} = 0,34 \cdot TK_H + 0,66 \cdot TK_T \quad (29)$$

kde TK_T je termofyziologický komfort a TK_H je komfort senzorický a platí pro ně následující vztahy [1]:

$$TK_T = \alpha_1 i_{mt} + \alpha_2 F_i + \alpha_3 K_d + \alpha_4 \beta_T + \alpha_5 K_f + \beta \quad (30)$$

kde i_{mt} [-] značí index prostupu vodních par, F_i [%] je schopnost krátkodobého přijímání par. Při nestacionární situaci při nošení (pocit pocení), pak musíme počítat i s následujícími hodnotami. K_d [-] hodnota vyrovnání vlhkosti, β_T [K*min⁻¹], hodnota vyrovnání teploty, K_f [-] pufrační veličina, F_i [g·m⁻²·h·mbar⁻¹] propustnost vlhkosti a R_{ct} [m²·mbar·W⁻¹] tepelná izolace vlhké textilie.

konstanty:

$$\begin{array}{lll} \alpha_1 = -5,640 & \alpha_3 = -1,587 & \alpha_5 = -4,532 \\ \alpha_2 = -0,375 & \alpha_4 = -4,512 & \beta = 11,553 \end{array}$$

$$TK_H = \alpha_1 i_{mt} + \alpha_2 i_k + \alpha_3 i_B + \alpha_4 i_0 + \alpha_5 n_K + \alpha_6 S + B \quad (31)$$

kde i_0 [-] značí povrchový index (povrchová drsnost/ chlupatost), n_K [-] počet dotykových bodů (dotyk textilie s kůží), obecně platí, že nižší počet těchto bodů je lepší. Index lepivosti i_k [-] (síla tření textilie po vlhké porézní desce) a index snášivosti i_B [-] (doba pohlcení kapky z jisté výšky).

konstanty:

$$\begin{array}{lll} \alpha_1 = -2,537 & \alpha_4 = 2,29 \cdot 10^{-2} & \alpha_6 = 3,86 \cdot 10^{-2} \\ \alpha_2 = 1,88 \cdot 10^{-2} & \alpha_5 = 1,71 \cdot 10^{-3} & \beta = 0,36 \\ \alpha_3 = 2,29 \cdot 10^{-3} & & \end{array}$$

2.9.3. Bioklimatická komora

Bioklimatická komora umožňuje simulaci klimatických podmínek v širokém rozsahu. Pro snímání hodnot teplot a vlhkosti používají speciálních čidel, jenž jsou napojena na výpočetní systém. Svým principem jde o uzavřené komory, které mají regulované vyhřívání plášťových stěn a přívod vzduchu dané teploty a vlhkosti včetně jeho výměny. Průchodkami ve stěnách jsou vedeny kabely tepelných a vlhkostních čidel, snímačů teploty, dechu atd.. Jednotlivé hodnoty jsou zaznamenávány. Teploty v komorách mohou být udržovány v intervalu -50 °C až + 60 °C, relativní vlhkosti pak v celém možném rozsahu. V komorách se provádějí měření jak na zkušebních osobách, tak na tepelných manekýnech [1].

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro měření propustnosti vodní páry na laboratorní větrné trati byla, vzhledem k parametrům této soustavy, zvolena metoda na principu měření úbytku hmotnosti vody, která má nahrazovat lidský pot (viz. kapitola 3.5.5).

Voda se odpařuje z textilní vrstvy simulující lidskou pokožku. Pro tuto vrstvu byl zvolen materiál MOIRA Trio, pro svoji schopnost pomocí kapilár transportovat (vzlínat) kapalinu do výšky vodního sloupce, která je dostačující pro experiment. Požadované výšky dosáhne v relativně krátké době (viz. kapitola 3.5.5).

Naměřené výsledky byly porovnány s hodnotami z dalších přístrojů pro měření propustnosti vodní páry, které jsou umístěny v laboratořích komfortu na KOD. Měření bylo provedeno na přístrojích PERMETEST a PSM-2. Výsledky jsou popsány v kapitolách 2.2.1.4. a 3.2.2.4.

3.1. Použité materiály

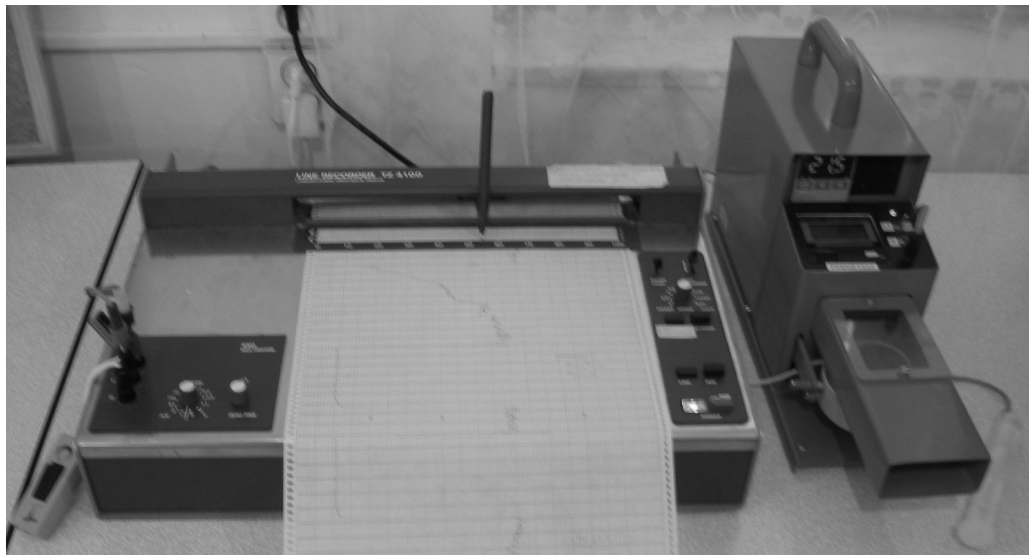
Materiály použité pro měření byly zapůjčeny z KOD a byly vybírány především podle účelu použití. Byly voleny materiály s úpravou do extrémních klimatických podmínek nebo takové jenž plní funkci mezivrstvy zajišťující odvod potu od lidské pokožky. Také byly vybrány dva materiály, které mají extrémně odlišnou schopnost propouštět vodní páru. První materiál je PE-LD folie (vzorek č.9) s minimální propustností pro vodní páru. Druhý materiál je záclonovina (vzorek č.10), která díky své vazbě má extrémní propustnost a prodyšnost.

3.2. Srovnávací měření propustnosti vodních par.

Vzhledem k nutnosti porovnání výsledků hodnot naměřených na zařízení pro hodnocení propustnosti instalované na větrné trati bylo nezbytné provést měření k zjištění propustnosti jednotlivých vzorků materiálů na již existujících zařízeních pro měření propustnosti vodních par. Měření bylo provedeno na přístroji PERMETEST a na přístroji PSM-2, pro měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám. Oba tyto přístroje jsou umístěny na KOD.

3.2.1. Propustnost vodních par - PERMETEST

Pomocí přístroje PERMETEST se měří propustnost textilií pro vodu a vodní páru, tepelná propustnost a tepelný odpor.



Obr. 22 - Přístroj PERMETEST na KOD.

Měřicí hlavice je umístěna ve vzduchovém kanálku, do kterého je vzduch přiváděn z okolí. Teplota proudícího vzduchu není přístrojem ovlivnitelná a je závislá na prostředí, ve kterém je přístroj umístěn. Laboratoř na KOD je vybavena klimatizačním systémem, proto bylo možno regulovat teplotu i vlhkost vzduchu, který bude ofukovat měřený vzorek.

3.2.1.1. Technické parametry přístroje PERMETEST

Popis přístroje s jednotlivými částmi byl již popsán v kapitole 2.8.4., proto v této kapitole budou jen uvedeny základní parametry přístroje a stručný postup měření [10]:

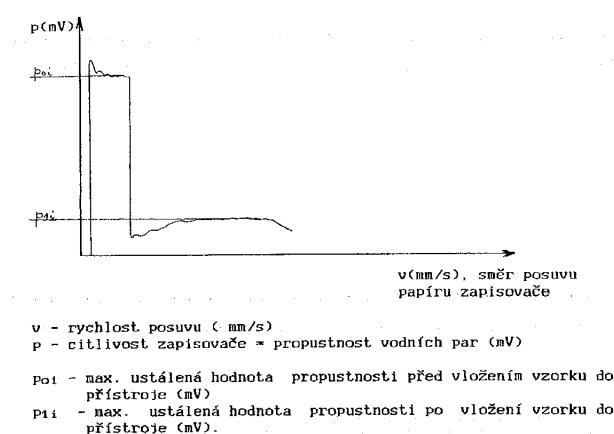
Rozsah stupnice:	- odpor proti prostupu vodní páry	1-100 m ² ·Pa·W ⁻¹
	- relativní prostupnost vodní páry	1-100 %
	- tepelná prostupnost	1- 0 W· m ⁻⁴ ·K ⁻¹
	- tepelný odpor	0,02-1 m ² ·K·W ⁻¹
	- tloušťka materiálů	0,1-7 mm
Nastavitelná rychlost proudění vzduchu:		1,5 a 3 m·s ⁻¹

Citlivost zapisovacího zařízení:	0,5-1 mV na plnou šíři papíru (250 mm)
Napájení:	220 V
Příkon:	60 W

3.2.1.2. Postup měření

- Po zapnutí přístroje PERMETEST sladit teplotu měřicí hlavy s teplotou vnějšího okolí (22 ± 2 °C).
- Přepínačem nastavit polohu I, vynulovat zapisovač, zvolit rozsah citlivosti 2 až 5 mV, zvolit rychlost posuvu papíru (0,25 až $0,5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$).
- Zvlhčit měřicí hlavu jednou kapkou (cca. 0,05 až 0,2 ml) destilované vody se smáčecím prostředkem a rozetřít po ploše.
- Po ustálení stavu na zapisovači (přibližně 30 s) odečíst maximální ustálenou hodnotu na měřítku zapisovače p_0 [mV].
- Vložit vzorek materiálu do přístroje a po ustálení (3 až 5 min.) odečíst maximální hodnotu na měřítku zapisovače p_1 [mV].

Po odečtení hodnot v měřítku zapisovače p_0 [mV] a p_1 [mV] se vypočítá podle vzorce (32) propustnost vodních par jednotlivých materiálů a následně průměrná relativní propustnost podle vzorce (33).



Obr. 23 - Graf propustnosti - výstup ze zapisovače [10].

Vztah pro výpočet propustnosti vodních par p_i [%] [10]:

$$p_i = \frac{p_1}{p_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (32)$$

kde p_0 značí stav odčítaný z grafu před vložením vzorku do přístroje (po ustálení) [mV]
a p_1 stav odečítaný z grafu po vložení vzorku do přístroje (po ustálení) [mV].

Vztah pro výpočet průměrné relativní propustnosti vodních par [10]:

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n p_i \quad [\%] \quad (33)$$

kde n je počet měření a p_i [%] relativní propustnost vodních par.

3.2.1.3. Podmínky měření

Zkouška byla provedena v klimatizované laboratoři na Katedře oděvnictví za následujících podmínek:

teplota okolí: 21,5 °C

relativní vlhkost: 49,2 %

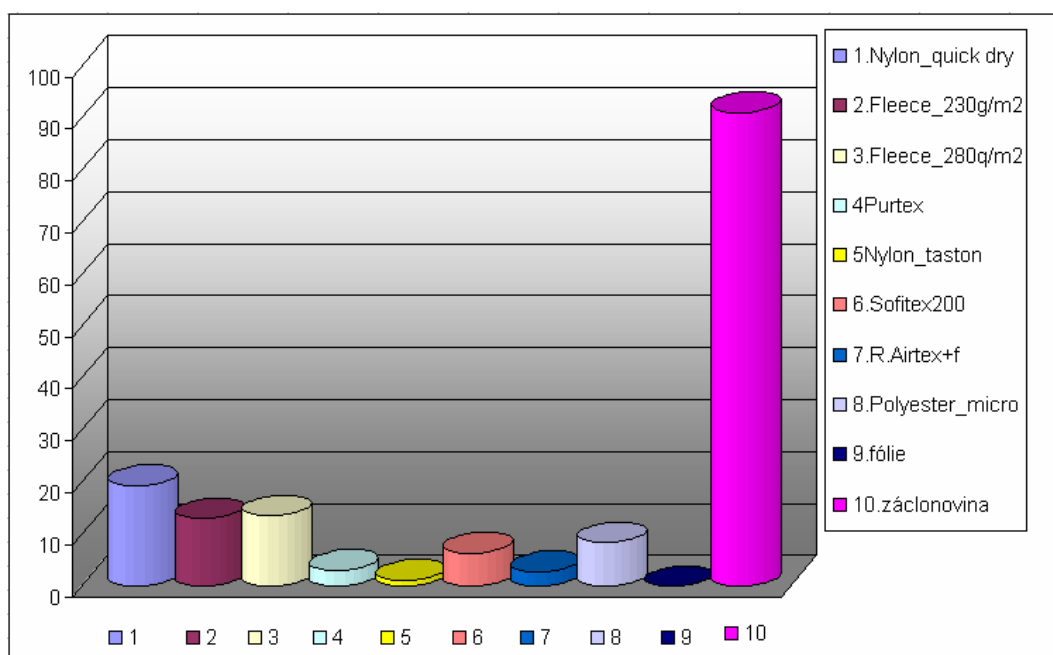
3.2.1.4. Výsledky měření

Bylo provedeno pět měření na každém materiálu. Při výpočtu průměrných relativních propustností pro jednotlivé materiály byl použit filtr pro maximální a minimální hodnotu. Tyto hodnoty jsou v tabulce označeny a do výpočtu průměrných relativních propustností nebyly zahrnuty.

Tab. 2 - Naměřené hodnoty propustnosti vodních par na přístroji PERMETEST.

i	1.měření	2.měření	3.měření	4.měření	5.měření	pr.relativní propustnost [%]
	(p ₁ /p ₀)	(p ₁ /p ₀)	(p ₁ /p ₀)	(p ₁ /p ₀)	(p ₁ /p ₀)	
1	12/66	13/56**	11/57	14/68	11/66*	19,36
2	8/69*	8/68	8/64	9/60**	9/61	13,01
3	9/57**	9/59	8/67*	9/68	8/66	13,54
4	5/88**	4/104	3/100	2/84	1/85 *	3,08
5	2/60**	1/60	0,5/52*	0,5/51	0,5/51	1,21
6	6/96	6/102	7/98	6/100*	7/95**	6,43
7	3/104	3/108*	3/108	3/108	3/104**	2,81
8	8/86**	7/88	7/88	7/89*	8/87	8,37
9	2/104**	0/102*	0/104	0,5/104	0/102	0
10	92/99**	90/100*	90/100	91/100	92/100	91,00

Pozn.: *minimální hodnota, **maximální hodnota propustnosti vodních par

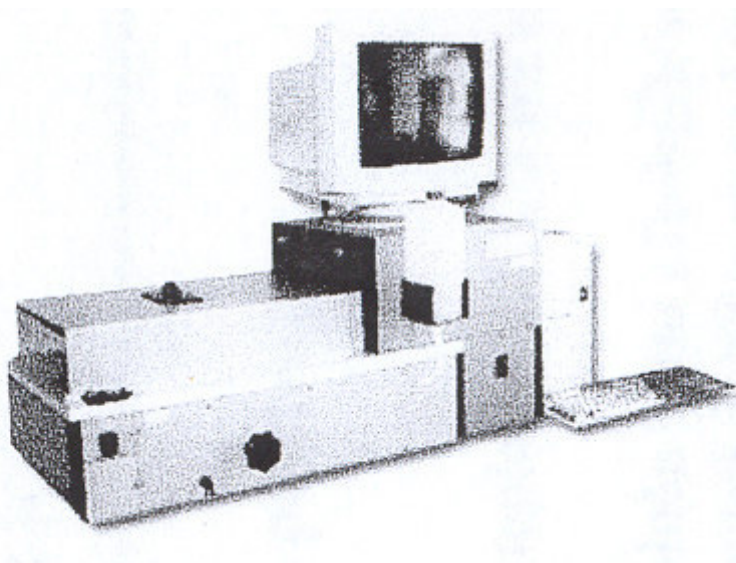


Graf. 1 - Hodnoty průměrné relat. propustnosti na přístroji PERMETEST.

3.2.2. Propustnost vodních par - přístroj PSM-2

Norma: ČSN EN ISO 11092 (31092)

Na přístroji PSM-2, podobně jako na přístroji PERMETEST, byla prováděna porovnávací měření pro propustnost vodních par. Za stanovených podmínek (teplota, vlhkost) přístroj simuluje lidskou kůži. Přístroj je umístěn v laboratoři komfortu na KOD.



Obr. 24 - Přístroj PSM-2 na KOD [10].

3.2.2.1. Princip měření

Měření se provádí v klimatizované laboratoři a je řízeno pomocí PC softwaru. Při měření je testovaná plocha textilie upevněna pomocí dvou rámečků na měřící podložku, na které je umístěna celofánová membrána a je zakryta víkem. V měřícím prostoru je udržována přesná teplota testovací podložky 35 °C. Po spuštění měření prochází vodní pára podložkou a testovanou textilií do vzduchového kanálu s kontaktním prouděním vzduchu rychlostí 1 m·s⁻¹. Celková tepelná ztráta se kompenzuje přesným dodáním elektrické energie. Měření jednoho vzorku, včetně kalibrace trvá 30 minut. Řízení měření, monitorování podmínek, výpočet a uložení výsledků testů se provádějí pomocí počítače [11].

3.2.2.2. Postup měření odolnosti vůči vodním parám

Odolnost vůči vodním parám je stanovena jako rozdíl tlaku vodních par mezi dvěma povrchy materiálu, dělený výsledným výparným tepelným tokem na jednotku plochu ve směru gradientu („latentní“ výparný tepelný tok, procházející danou plochou, odpovídající ustálenému tlakovému gradientu páry) [11].

1. Spuštění voleného příkazu z programu (PSM).
2. Proběhne temperace přístroje a plnění zásobníku vodou.
3. Po skončení temperace se vloží celofánová membrána a odstraní vzduchové bubliny.
4. Vložit rámeček s osazením a výřezem a vzorek na měřicí desku.
5. Vložit rámeček bez osazení.
6. Nasadit kryt.
7. Spustit příkaz „pokračovat“.
8. Vyplnit údaje do dialogových oken programu.
9. Po ukončení měření se výsledek zobrazí v informačním poli.

Hodnoty jsou ukládány do textového souboru na zaznamenávací zařízení. Výstupními hodnotami jsou zde [11]:

T_m :	Teplota měřicí jednotky [°C]
T_s :	Teplota tepelného chrániče [°C]
T_a :	Teplota vzduchu ve zkušebním prostoru [°C]
H :	Výhřevnost měřicí jednotky [W]
Ret :	Odolnost vůči vodním parám [m ² ·Pa·W ⁻¹]

Propustnost vodních par **W_d** [g·m²·h⁻¹·Pa⁻¹] [11]:

$$W_d = \frac{1}{R_{et} \cdot \Phi T_m} \quad \left[\frac{g}{m^2 \cdot h \cdot Pa} \right] \quad (34)$$

kde ΦT_m [W·h·g⁻¹] latentní teplo (tabulková hodnota pro odpařování vody) při teplotě měřicí jednotky T_m. Hodnota latentního tepla při teplotě měřicí jednotky T_m=35 °C je rovna 0,672 W·h·g⁻¹.

3.2.2.3. Podmínky měření

Přístroj musí být umístěn v klimatizované místnosti s teplotou 20 °C a relativní vlhkostí 65 % [11].

tloušťka vzorku: < 0,5 mm

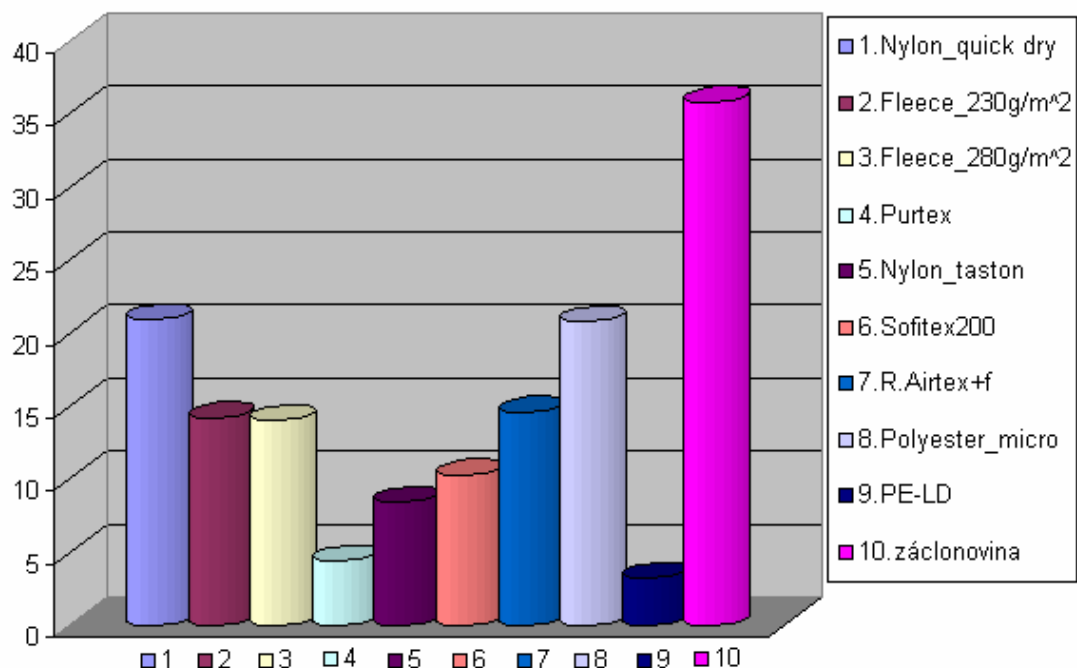
velikost vzorku: 280 x 280 mm

3.2.2.4. Výsledky měření

Na každém materiálu byla provedena tři měření. Výsledky jednotlivých měření jsou pak zapsány v následující tabulce. Bylo také provedeno porovnání s předchozím měřením na přístroji PERMETEST a měřením na větrné trati a je uvedeno v kap. 3.5.9.

Tab. 3 - Naměřené hodnoty propustnosti vodních par na přístroji PSM-2.

vzorek	1.měření	2.měření	3.měření	var. koef.	směr. odch.	pr. Ret [m ² ·Pa·W ⁻¹]	Wd [g·m ⁻² ·Pa ⁻¹ ·h ⁻¹]
	Ret [m ² ·Pa·W ⁻¹]	Ret [m ² ·Pa·W ⁻¹]	Ret [m ² ·Pa·W ⁻¹]				
1	6,896	7,22	7,259	0,04	0,20	7,116	0,209
2	11,204	10,325	9,912	0,44	0,66	10,48	0,142
3	9,374	11,233	11,233	1,15	1,07	10,613	0,14
4	32,83	34,481	33,845	0,69	0,83	33,66	0,044
5	19,653	18,333	15,33	4,91	2,22	17,773	0,084
6	17,042	10,726	15,684	11,05	3,32	14,484	0,103
7	10,057	10,25	10,174	0,01	0,10	10,16	0,146
8	7,207	7,138	7,095	0,00	0,06	7,147	0,208
9	46,769	46,267	46,564	0,06	0,25	46,533	0,032
10	4,123	4,179	4,171	0,00	0,03	4,158	0,358



Graf. 2 - Hodnoty propustnosti vodních par na přístroji PSM-2.

3.3. Hodnocení prodyšnosti na přístroji SDL M 021S

Norma: ČSN EN ISO 9237 (80 0817)

Na přístroji SDL M 021S byla měřena prodyšnost jednotlivých vzorků. Měření bylo provedeno za stavených podmínek (teplota, vlhkost) v laboratořích komfortu na KOD.



Obr. 25 - Přístroj pro měření prodyšnosti SDL M 021S [19].

3.3.1. Princip měření

Prodyšnost plošných textilií se provádí pomocí měření rychlosti vzduchu procházejícího kolmo materiálem při stanoveném tlakovém spádu. Vzorek musí být klimatizován dle normy ISO 139 a nesmí vykazovat známky poškození. Vzduch je do měřicí hlavy vháněn pomocí vakuového čerpadla, které se ovládá pomocí pedálu. Proud vzduchu lze nastavit od 0,05 - 415 ml·s⁻¹ a měří se pomocí 4 rotametrů se stupnicí a izolovanými ventily [19].

3.3.2. Postup měření prodyšnosti

1. Seřídít tlakový spád na polohu „ZERO“ tlakovým šroubem v pravé horní části přístroje.
2. Zkontrolovat uzavření ventilů „A“ a „C“, ventil „B“ nikdy úplně nezavírat.
3. Zkušební vzorek upnout do kruhového držáku vzorku s použitím dostatečného napětí, které zabrání vzniku záhybů. U plošných textilií, jejichž strany mohou být různě prodyšné, se v protokolu o zkoušce uvede která strana byla zkoušená.
4. Nastavit ventil průtokoměru na polohu „4“ a sešlápnout pedál nasávacího zařízení. (Vzduch se nasává skrz vzorek).
5. Pomalým otáčením ventilu „C“ nastavit doporučený tlakový spád.
6. Po 1 minutě odečíst průtok vzduchu (na vrcholu plováku).
7. Když se v průtokoměru „4“ plovák nezvedne, uzavřít ventil „C“ a průtokoměr „4“.
8. Zvolit průtokoměr „3“ a opakujte postup 5 a 6.
9. Když se plovák nezvedne, uzavřít ventil „C“ a zvolit průtokoměr „2“.
10. Pomalým otáčením ventilu „A“ nastavit doporučený tlakový spád. Na průtokoměru odečíst hodnotu vzduchu v [ml·s⁻¹]. Pokud se plovák nezvedne, nastavit průtokoměr „1“ a postup opakovat.

Rozsahy průtokoměrů :

Průtokoměr 1	0,1 - 1,0 [ml·s ⁻¹]
Průtokoměr 2	0,4 - 5,8 [ml·s ⁻¹]
Průtokoměr 3	4,0 - 40 [ml·s ⁻¹]
Průtokoměr 4	40 - 400 [ml·s ⁻¹]

Z jednotlivých měření se vypočítá aritmetický průměr rychlosti průtoku vzduchu q_v [ml·s⁻¹]. Pomocí něj se vypočítá prodyšnost R [mm·s⁻¹], dle vzorce [19]:

$$R = \frac{\overline{q_v}}{A} \cdot 10 \left[\frac{mm}{s} \right] \quad (35)$$

kde A [cm²] je zkoušená plocha textilie ($A=20$ cm²) a násobek **10** přepočítává z [ml·s⁻¹·cm⁻²] na [mm·s⁻¹]. Pro textilie s volnou vazbou, nebo netkané textilie se používá násobek **0,01**, který přepočítává z [ml·s⁻¹·cm⁻²] na [m·s⁻¹].

3.3.3. Podmínky měření

Zkouška byla provedena v klimatizované laboratoři na Katedře oděvnictví za následujících podmínek:

teplota okolí: 22 °C

relativní vlhkost: 48 %

tlakový spád: 20 Pa

Vzorek byl upnut lícem proti proudu vzduchu. Tímto způsobem se měří odolnost vůči pronikání větru z okolního prostředí.

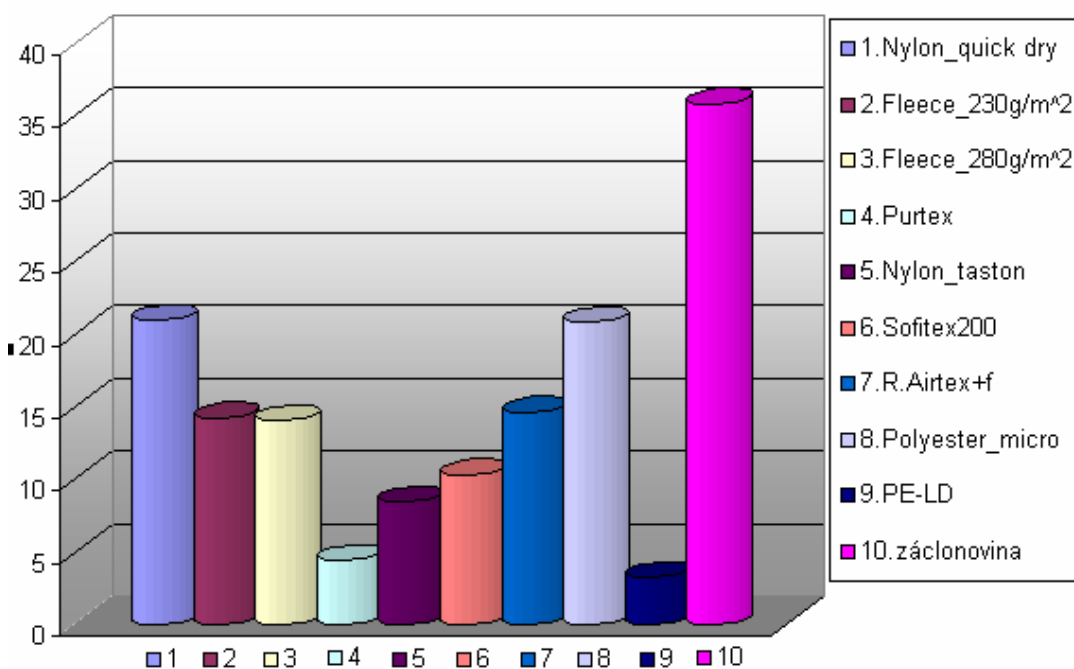
3.3.4. Výsledky měření

Pro každý vzorek byla provedena tři měření. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce a porovnání prodyšností jednotlivých materiálů v grafu č.3.

Tab. 4 - Naměřené hodnoty prodyšnosti vzduchu na přístroji SDL M021S.

vzorek	1.měření	2.měření	3.měření	var. koef.	Směr. odchyl.	\bar{q}_v [ml·s ⁻¹]	R [mm·s ⁻¹]
	[ml·s ⁻¹]	[ml·s ⁻¹]	[ml·s ⁻¹]				
1	182	184	184	1,33	1,16	183,33	91,67
2	116	114	114	1,33	1,16	114,67	57,33
3	98	100	100	1,33	1,16	99,33	49,67
4	78	84	80	9,33	3,06	80,67	40,33
5	36	33	36	3	1,73	35,00	17,50
6	38	37	38	0,33	0,58	37,67	18,83
7	35	35	36	0,33	0,58	35,33	17,67
8	118	117	115	2,33	1,53	116,67	58,33
9	21	28	24	12,33	3,51	24,33	12,17
10	-	-	-	-	-	-	-

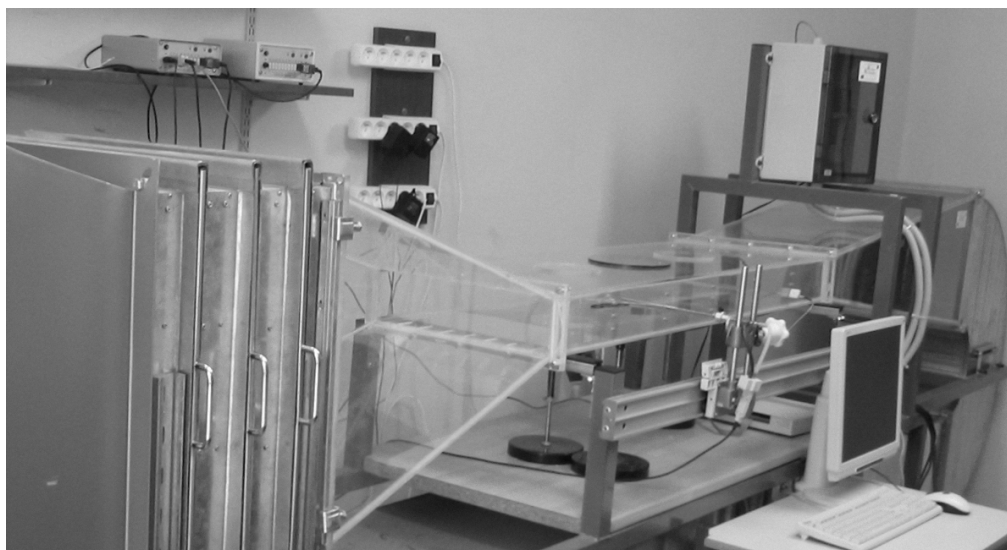
Pozn.: Hodnoty vzorku č. 10 (záclonovina) byly mimo rozsah měření.



Graf. 3 - prodyšnosti vzduchu na přístroji SDL M021S.

3.4. Laboratorní větrná trať

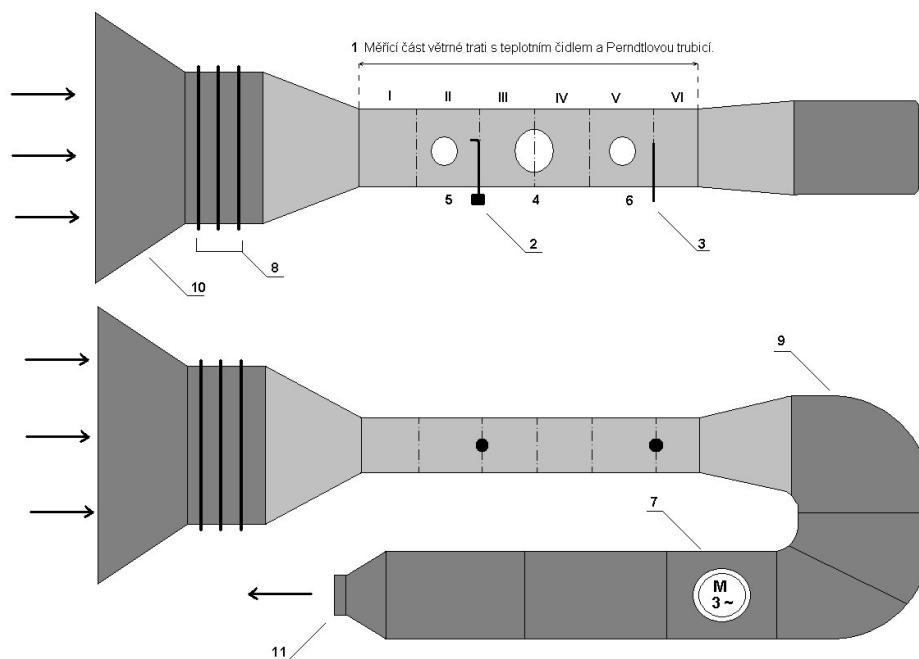
Měřicí soustava na hodnocení propustnosti vodní páry je umístěna na laboratorní větrné trati v klimatizovaném prostředí na KOD.



Obr. 26 - Laboratorní větrná trať na KOD.

Trať je řízená pomocí počítače s programem vytvořeným pro tuto soustavu v programovém prostředí LabView s možností plynulé změny rychlosti proudění vzduchu. To zajišťuje třífázový asynchronní motor o výkonu 1,95 kW. Změna otáček je zajištěna frekvenčním měničem Varispeed V7.

Rozsah nastavení rychlosti proudění je do $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Krokování rychlosti proudění je programem nastaveno po $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Původně byla soustava uzavřená. Později však došlo ke konstrukční změně a trať je v současné době konstruována jako otevřený tunel (viz. Obr. 27).



Obr. 27 - Náčrtes laboratorní větrné trati na KOD.

Tmavé plochy v náčrtesu značí části větrné tratě, které jsou konstruovány z plechu, zatímco světle jsou zakresleny díly z organického skla (plexisklo).

Větrná trať se skládá z pracovní (měřicí) části (1), která má délku 120 cm a je rozdělena do 6 pracovních sekcí. Rozdělení je z důvodu rozdílného působení vzduchu v jednotlivých místech měřicí části tunelu. Pro měření propustnosti vodní páry byl použit otvor (4) umístěný uprostřed pracovní délky. Trať obsahuje ještě další dva menší otvory (5) a (6) pro sondy v úsecích II a V. Úseky jsou číslovány vzestupně od plechového trychtýře (10), který zajišťuje dostatečnou plochu pro nasávání vzduchu. Pokud by tato plocha byla nedostatečná, vznikl by v místě sání nepřiměřený podtlak a v případě zakrytí této plochy by mohlo dojít k poškození motoru (7). Vzduch je pak ven z celé soustavy vyháněn ústím větrné tratě (11).

Soustava tedy pracuje na principu sání. K zmírnění turbulencí vzduchu ofukujícího textilií slouží kovové mřížky (8). Aby přístroj nebyl příliš dlouhý, je motor uložen pod měřicí soustavou. Ke spojení obou částí větrné trati, slouží plechové koleno (9).

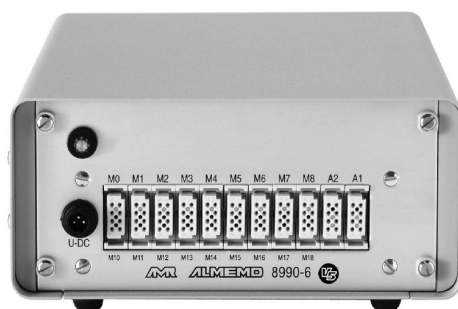
V měřicí části jsou umístěna dvě snímací čidla. Prandtlůva trubice (2) napojená na diferenční tlakový modul FD A602-M1K (viz. kapitola 3.4.1.2.) a NiCr-Ni termočlánek (3).

3.4.1. Měřicí a komunikační vybavení větrné tratě

Věrná trať je s PC propojena pomocí systému ALMEMO, který komunikuje po sériové lince RS-232. Na měřicí systém je napojena Prandtlova trubice pro snímání rychlosti proudění vzduchu. K systému ALMEMO jsou pak připojovány jednotlivé sondy, které obsahují snímací a měřicí zařízení v souvislosti s účelem měření, pro které byly konstruovány.

3.4.1.1. Měřicí systém ALMEMO 8990-6

Systém ALMEMO má 9 měřicích míst. Nastavení a řízení probíhá pouze po sériové lince, neboť zde nejsou ovládací prvky přímo na přístroji.



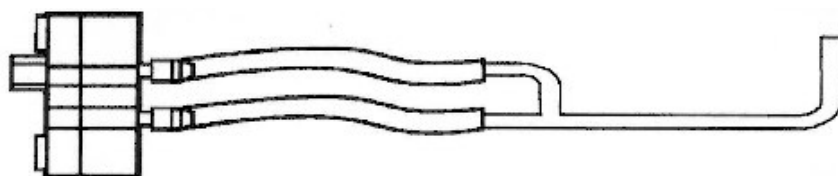
Obr. 28 - Měřicí přístroj ALMEMO 8990-6 [12].

Technická data přístroje [12]:

interface:	RS-232
počet měřicích míst:	9 (M0-M8)
počet komunikačních míst:	2 (A1-A2)
rychlost komunikace:	volitelná (1200/2400/4800/9600 bps)
délka slova:	8 bitů
parita:	bez parity
stop bit:	1 bit

3.4.1.2. Prandtlůva trubice

Prandtlůva trubice typu FD 9912 slouží pro snímání proudu vzduchu. K výslednému vyhodnocení pak slouží diferenční tlakový modul FD A602-M1K, jenž je k trubici připojen pomocí gumových hadiček. Přesnost měření trubice může být ovlivněna úhlem, pod kterým vzduch na trubici proudí, proto je nutné dohlížet, aby byla trubice kolmo ke směru proudění vzduchu.



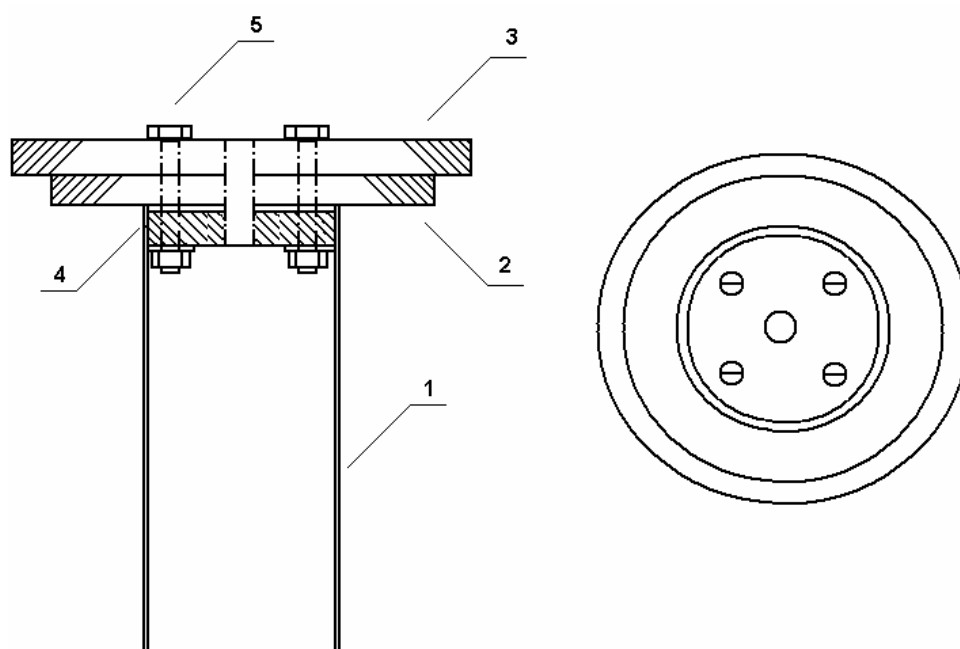
Obr. 29 - Prandtlůva trubice napojena na tlakový modul typu FD A6x2-Mx [12].

Technická data tlakového modulu [12]:

rozsah měření:	0,5 - 40 m·s ⁻¹
přesnost:	± 0,2 % u rozsahu
přetížitelnost:	3x měřicí rozsah

3.5. Zařízení pro hodnocení propustnosti vodní páry na laboratorní větrné trati KOD

Při konstrukci zařízení bylo potřeba vzít v úvahu parametry větrné tratě. Snahou také bylo minimalizovat konstrukční zásahy do systému a zachovat kompatibilitu s již existujícími sondami. Právě poslední podmínka určovala válcový tvar soustavy s průměrem válce do 80 mm (Obr. 30).



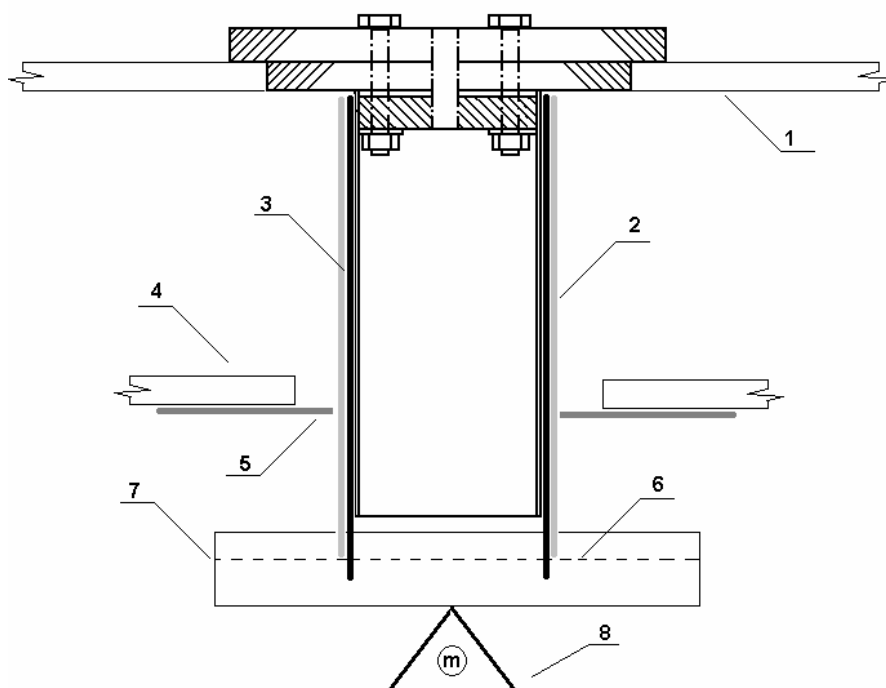
Obr. 30 - Válcové těleso.

Samotné těleso se skládá z plastového válce (1) o průměru 70 mm a výšky 120 mm. Pro měření vzorků, vytvořených pro ostatní sondy, je možné na těleso snadno nasadit přídatnou vrstvu a průměr válce se takto rozšíří na 80 mm, což je průměr ostatních válcových těles. Dutý válec je pomocí 4 šroubů (5) spojen s destičkou z plastu (4), která je umístěna uvnitř dutého válce. Ta je pak pomocí 4 šroubů připevněna ke spodnímu víku (2) o průměru 160 mm. Šrouby zároveň prochází i horním víkem (3) o průměru 180 mm a tím všechny části soustavy spojují.

Těleso musí být konstruováno velmi pevně, neboť v této části tunelu proudí vzduch rychlostí až $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a vzhledem k turbulentnímu proudění které zde vzhledem ke konstrukci vzniká, působí na jednotlivé části soustavy působí dynamické namáhání. Tomuto bylo tímto provedením vyhověno.

3.5.1. Umístění soustavy v měřicí části tunelu

Spodní část víka má shodný průměr jako otvor v horní stěně (1) tunelu. Tímto zabraňuje proudění vzduchu mimo soustavu. Horní část víka, s průměrem o 20 mm větším, pak zajišťuje bezpečné usazení celé soustavy.



Obr. 31 - Umístění tělesa v tunelu.

S ohledem na to, že otvor ve spodní stěně (4) trati je mnohem větší, než je průměr plastového válce, bylo potřeba tuto mezeru zakrýt a eliminovat tak působení proudu vzduchu na hladinu (6). Vzhledem k tomu, že na válci je podkladová textilie(3), která byla zvolená na základě experimentu (viz kapitola 3.5.5.) napodobující lidskou pokožku, a měřený vzorek textilie (2), je průměr soustavy pohyblivý. Proto bylo vyrobeno několik plastových fólií (5) s rozdílnými vnitřními průměry pro jednotlivé tloušťky vzorků. Fólie s odpovídajícím průměrem se pak upevní na otvor na dně větrné trati a zabrání tak průchodu proudu vzduchu.

Pod soustavou je na digitálních vahách (8) umístěn zásobník s vodou (7). Důležité pro přesné měření je, aby textilie imitující lidskou pokožku, byla po celou dobu provádění experimentu ponořená pod hladinu vody a zároveň se nedotýkala dna a neovlivňovala tak měření.

3.5.2. Snímání a zápis dat

Princip měření vychází z vážení úbytku hmotnosti vody. Vzhledem k jemným změnám hmotnosti bylo třeba vybrat váhy s vysokým rozlišením (minimálně setiny

gramu). Zároveň bylo nutné, aby vážící rozsah vah byl vyšší než 200 g. Váhy také musely mít výstup pro sériovou komunikaci.

Tyto parametry na Katedře oděvnictví splňovaly pouze váhy Kern EG 300_3M (Obr. 32).



Obr.32 - Digitální váhy KERN EG 300_3M [14].

Technická data digitálních vah typu EG [14]:

rozlišení:	0,001 g
rozsah vážení:	300 g
Ověř. hodnota:	0,01 g
Opakovatelnost:	0,001 g
vážící plocha:	Ø 118 mm
síťový adaptér:	230V, 50/60 Hz, 9 V DC, 200 mA
relativní vlhkost:	80% (nekondenzující)
pracovní teplota:	10 ÷ 30 °C
interface:	RS 232 C

Technické parametry sériového rozhraní [14]:

interface: RS 232 C
 přenosový formát: sériový datový přenos
 data-bit: 8-bit (standardní ASCII formát)
 start bit: 1-bit
 stop-bit: 2-bits
 parita: NON*, ODD, EVEN
 přenosová rychlost: nastavitelná (1200*/2400/4800/9600)
 sériové rozhraní: nastavitelné (žádný/šestimístný*/sedmimístný)

(pozn. hvězdičkou jsou označeny nastavené hodnoty)

Data z vah vystupují v 6-ti místném datovém formátu (Tab. 5). První znak symbolizuje znaménko. Následuje 7 symbolů pro hodnotu ve zvolených jednotkách. Právě zvolené jednotky tak zastupují políčka U1 a U2 na pozicích 9 a 10. Pole 11 a 12 pak obsahují informační symboly o vážení. Konkrétní význam pro jednotlivé symboly je vysvětlen v následujících tabulkách.

Tab. 5 - Tabulka pro 6-ti místný datový formát [15].

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
P1	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	U1	U2	S1	S2	CR	LF

Tab. 6 - Algebraické znaky [15].

P 1	Kód	Popis
+	2 B H	Hodnota je 0 nebo kladná
-	2 D H	Hodnota je záporná
sp	20 H	Hodnota je 0 nebo kladná

Tab. 7 - Data [15].

D	Kód	Popis
0 - 9	30 H – 39 H	Hodnota 0 - 9 (maximálně 6 znaků)
. (Tečka)	2 EH	Desetinná tečka (nastavitelná)
Sp	20 H	Znak pro mezeru

Tab. 8 – Jednotky [15].

U1	U2	Kód		Název jednotky	Značka
(SP)	G	20H	47H	Gram	g
C	T	43H	54H	Metrický karát	ct
O	Z	4FH	5AH	Ounce	oz
L	B	4CH	42H	Libra	lb
O	T	4FH	54H	Troy ounce	oz t
D	W	44H	57H	Pennyweight	dwt
G	R	47H	52H	Grain	▶
T	L	54H	4CH	Tael (Hong Kong)	tl
T	L	54H	4CH	Tael (Singapore, Malaysia)	tl ▶
T	L	54H	4CH	Tael (Taiwan)	tl ▶
M	O	4DH	4FH	Momme (Japonsko)	mom
t	o	74H	6FH	Tola (Indie)	to
(SP)	%	20H	25H	Procenta	%
P	C	50H	43H	Kusy	Pcs

Tab. 9 - Parametry měření S1 [15].

S 1	Kód	Pokud váhy používají toleranční rozsah:
L	4 CH	Hodnota je menší než je tolerance
G	47 H	Hodnota je v tolerančním rozsahu
H	48 H	Hodnota je větší než je tolerance

Tab. 10 - Parametry měření S2 [15].

S 2	Kód	Popis
S	53 H	Stabilizovaná hodnota
U	55 H	Nestabilizovaná hodnota
E	45 H	Error - chybové hlášení. Zobrazení na disp.: (o-Err, u-Err)
sp	20 H	Žádný speciální stav

Pro zápis dat lze použít originální program firmy Kern. Tento software provádí zápis do textového souboru a to ve formátu dle tabulky 5. Tento software ovšem plně nevyhovuje našim požadavkům.

Nelze kupříkladu nastavit interval zápisu dat, což je vzhledem k době měření celkem důležitý parametr. Stává se tak, že musíme pracovat s řádově desetitisíci hodnotami. To některé programy pro zpracování dat nepodporují. Tento program lze vyřešit převedením do programů s možností úpravy dat, například „for cyklus“ v Matlabu. Tento způsob řešení problému je ovšem pro koncového uživatele složitý a nevhodný.

Další nevýhodou je výstupní formát, kdy kromě výsledné hmotnosti v číselném formátu program zapisuje i pro uživatele nepotřebné znaky symbolizující parametry měření (Tab. 5).

Program také data neukládá průběžně, ale na konci měření. Laborant tak může v případě pádu programu, výpadku proudu či jiné nenadálé události nenávratně ztratit již naměřené hodnoty.

Z těchto důvodů bylo nutno vytvořit nový software pro komunikaci s digitálními váhami a zápis hodnot.

3.5.3. Program pro komunikaci a zápis dat

Pro tvorbu programu bylo zvoleno prostředí Delphi, konkrétně Delphi7. Důvodem volby tohoto softwaru byla jednak znalost s prací v tomto prostředí, ale především tento program plně vyhovuje tomuto účelu.

Bylo nutno nainstalovat do prostředí Delphi komponentu pro komunikaci po seriové lince a nastavit potřebné parametry.

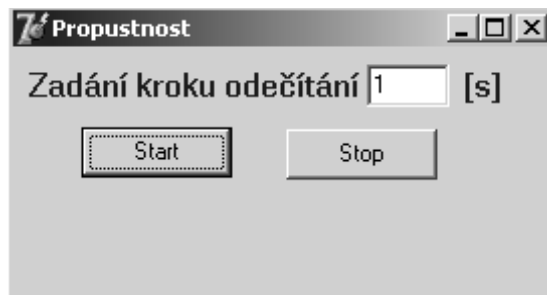
Program nejprve načte hodnotu času, při které byl spuštěn operační systém, a po spuštění měření načte aktuální údaj o čase. Rozdíl těchto hodnot pak slouží při zápisu času. Zápis dat je prováděn do programu Microsoft Excel a to jako matice ve formátu [t,2], kde hodnota t je počet řádků a je závislá na délce měření a nastavení zápisu dat.

Zápis je tedy prováděn ve dvou sloupcích, kde první je čas v sekundách. Druhý sloupec pak obsahuje hodnoty měření.

Vzhledem k tomu, že váhy zasílají i údaje o nastavených parametrech vážení a ukončovací symboly **CL** (return travel) a **LF** (line feed), je potřeba pro zpracování hodnot tyto symboly odstranit. To zajišťuje příkaz pro nahrazení znaků, která nejsou

číslicemi nebo mezerou. Tuto mezeru pak program Microsoft Excel ignoruje a zápis je ukončen poslední číslicí. Tyto kroky velmi usnadňují práci uživatelům.

Program je součástí této diplomové práce, výpis programu je pak uveden v příloze.



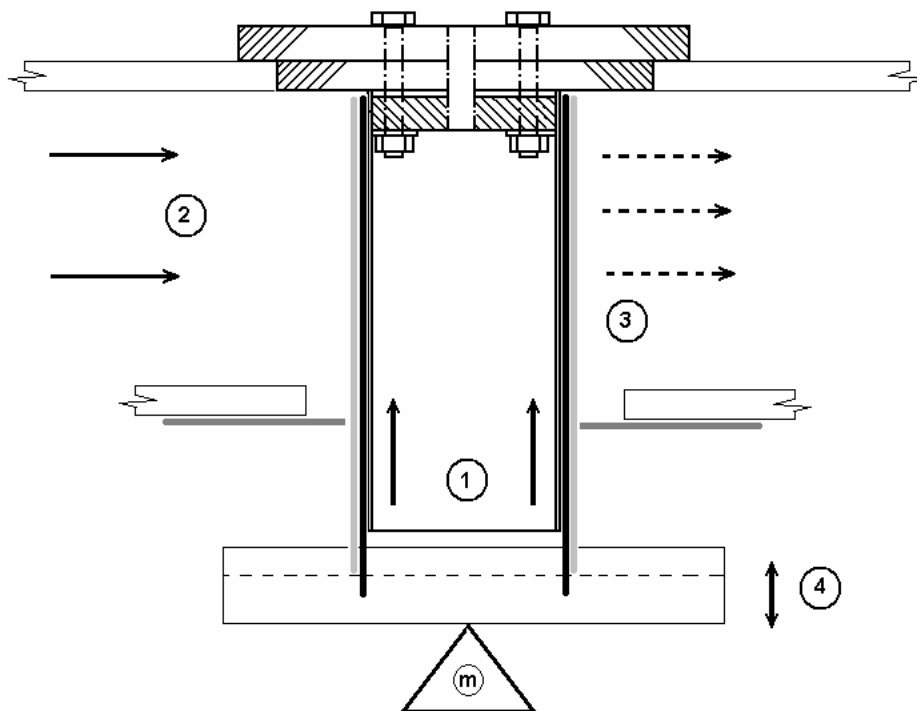
Obr. 33 - Grafické prostředí programu pro zápis dat z digitálních vah.

3.5.4. Princip měření

Podstatné pro stanovení vhodného principu měření bylo, že vzorek není umístěn horizontálně, ale vertikálně. Proto nelze použít podobné principy jako u ostatních přístrojů (viz kapitola 2.8.), neboť voda napodobující lidský pot není rovnoměrně rozmístěna v celé ploše. Nelze tedy snímat hodnoty na jednotlivých místech, ale měření musí být prováděno v celé soustavě. Jako nejvhodnější se ukázala metoda na založená měření úbytku hmotnosti.

Nejprve bylo zvažování měření úbytku hmotnosti celé soustavy, což se ovšem ukázalo jako nevhodné, neboť působení proudu vzduchu na váženou soustavu ovlivňovalo výsledky měření.

Byla tedy zvolena metoda, při které nebude vážena celá soustava, ale pouze zásobník s vodou, imitující lidský pot. Nákres celé soustavy s podrobným popisem je uveden v kapitole 3.5.



Obr. 34 - Princip měření propustnosti vodní páry oděvní vrstvou.

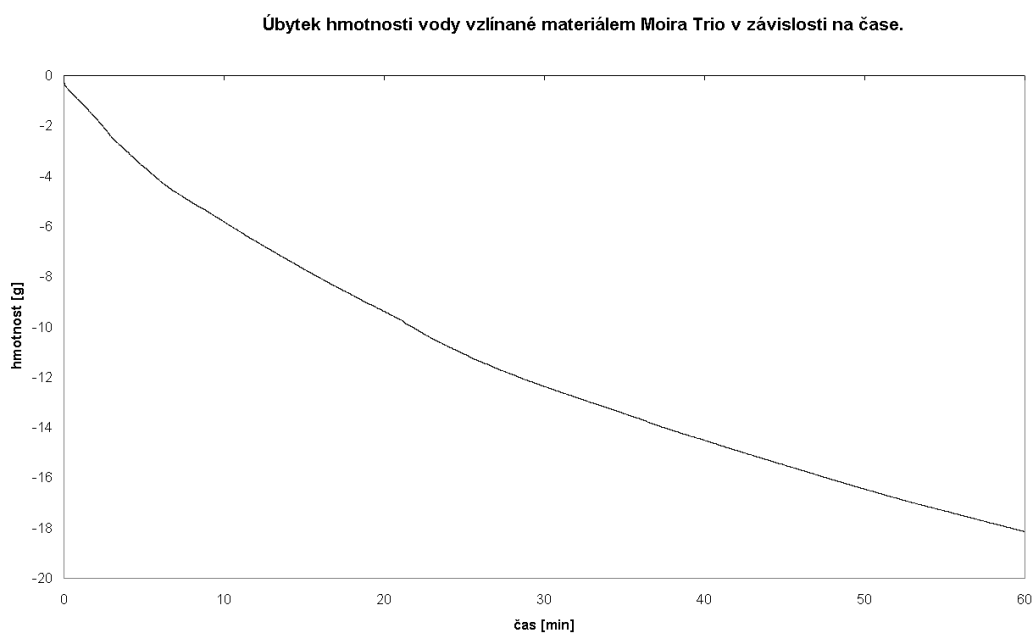
Spodní konec podkladové textilie Moira Trio (kapitola 3.5.5.) je ponořen do zásobníku s vodou. Textilie má schopnost tuto vodu transportovat vztlínáním (1) po celé své ploše až dosáhne svého absorpčního maxima. Principy těchto dějů jsou podrobně popsány v kapitolách 2.5. a 2.7.

V okamžiku, kdy je textilie maximálně nasáklá, dojde k zastavení procesu vztlínání a tím i k minimalizaci úbytku hmotnosti vody v zásobníku (4). Hmotnost vážené vody bude i nadále klesat vzhledem k procesu vypařování kapaliny do okolí skrz oděvní vrstvu a schopnosti podkladové vrstvy doplnit vztlínáním množství vody v ní obsažené do absorpčního maxima. Úbytek hmotnosti vody vypařené do okolí za daný čas, pak vypovídá o schopnosti krycí textilie propouštět vodní páru.

Výsledky propustnosti jednotlivých vzorků, měřené touto metodou, jsou uvedeny v kapitole 3.5

Proces vztlínání do absorpčního maxima trvá díky velmi dobrým transportním schopnostem podkladové textilie několik minut. Jeho průběh v závislosti na čase je zachycen v grafech 5 a 8.

Do okamžiku kdy podkladová textilie nedosáhne svého absorpčního maxima nelze začít měření propustnosti vodní páry. Hodnoty by byly ovlivněny úbytkem hmotnosti kapaliny, kterou absorbuje suchá textilie a neodpaří se do okolí.



Graf. 4 – Úbytek hmotnosti vody vzlínané materiálem Moira Trio v závislosti na čase

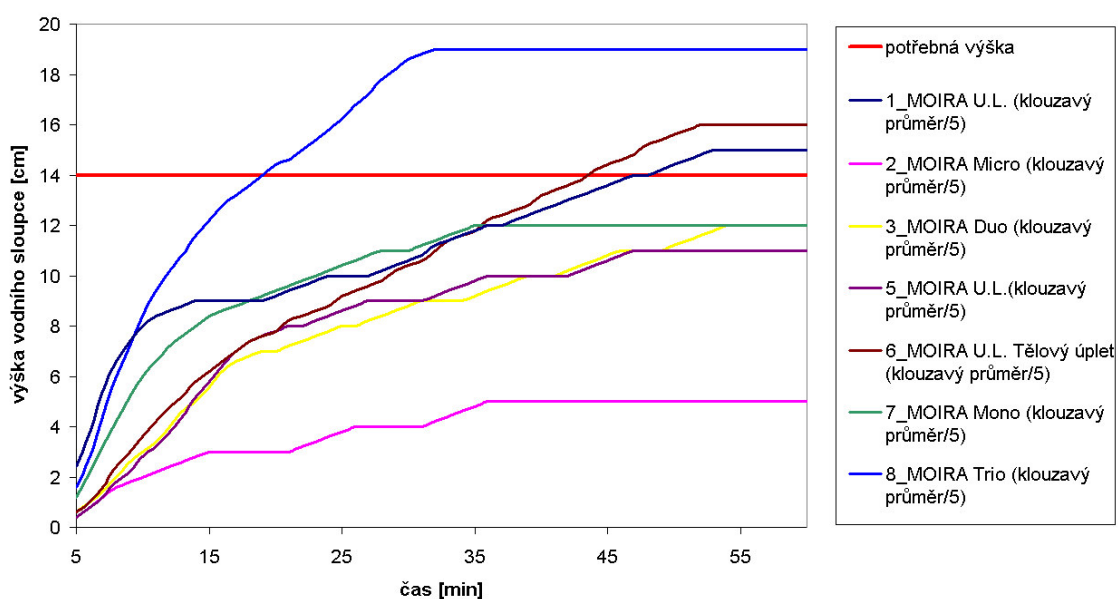
Z grafu č. 4 je zřejmé, že během prvních 25 minut hmotnost v zásobníku ubývá rychleji a to na základě schopnosti suché textilie vzlínat kapalinu dokud nedosáhne svého absorpčního maxima nebo maximální výšky vodního sloupce. Vzhledem k tomu, že použitý materiál Moira Trio má výšku vodního sloupce, zjištěnou na základě experimentu, 190 mm (viz. Graf. č. 5) a experiment byl prováděn na vzorku dlouhém 120 mm je zřejmé, že se jedná o dosažení absorpčního maxima. V případě smočení podkladového materiálu odpadne doba měření, kdy suchý materiál dosahuje svého maxima nasákavosti (absorpční maximum) a hodnoty úbytku hmotnosti budou založeny pouze na základě odpařování vody skrz oděvní vrstvu. Tento postup je nutný pouze u prvního vzorku nebo v případě, že mezi jednotlivými měřeními dojde k delší prodlevě a podkladová vrstva by mohla vyschnout. Takto je možné zkrátit délku měření až o 20 minut. Odpadne nám v grafu část exponenciální a zůstane pouze lineární úbytek hmotnosti na základě propustnosti měřeného vzorku. Tato část musí být, pro zajištění dostatečné přesnosti měření, zaznamenávána nejméně po dobu 30 minut (podrobný postup viz. kapitola . 3.5.6.).

3.5.5. Podkladová textilie

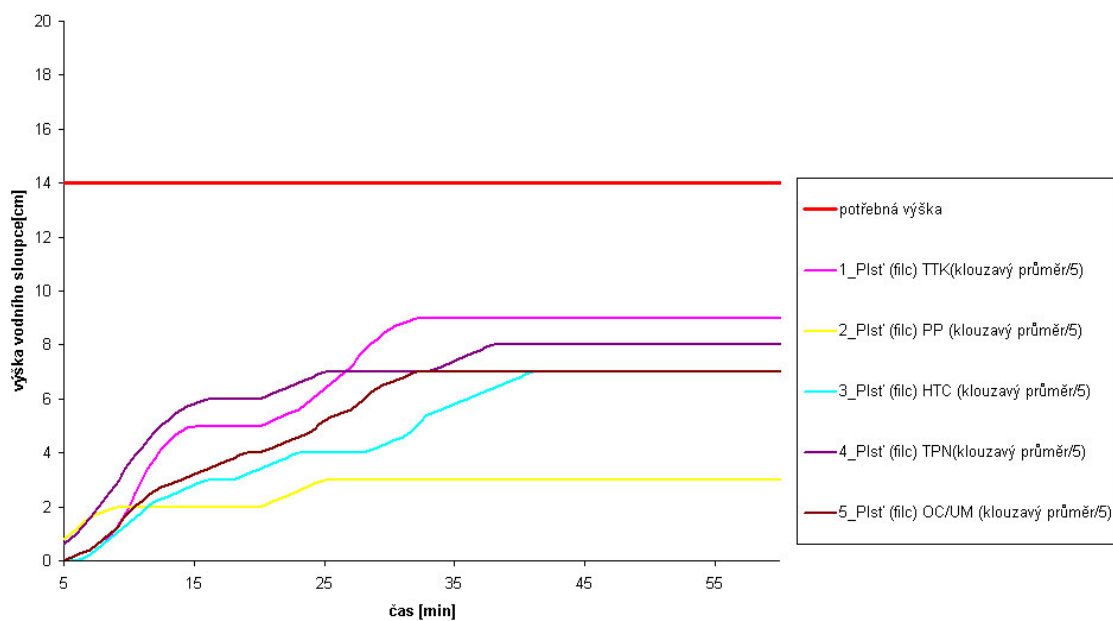
Jako imitace lidské pokožky byla použita textilie, která musela splňovat určité podmínky. Nejdůležitější při volbě vhodné textilie byla schopnost importovat pomocí kapilárního vztlínání (viz kapitola 2.5.) kapalinu do potřebné výšky (120mm) a to v co možná nejkratším čase. Další důležitou vlastností bylo, aby textilie byla schopná absorbovat dostatečné množství vody. Tento parametr však převážně vychází z plošné hmotnosti dané textilie, proto byl určující převážně první parametr.

Tyto vlastnosti pak byly u jednotlivých vytipovaných vzorků ověřeny měřením podle normy ČSN 80 08 28 (Stanovení savosti vůči vodě – postup vztlínáním) na zařízení pro zkoušení savosti. Princip měření vztlínivosti je popsán v kapitole 2.7.1.

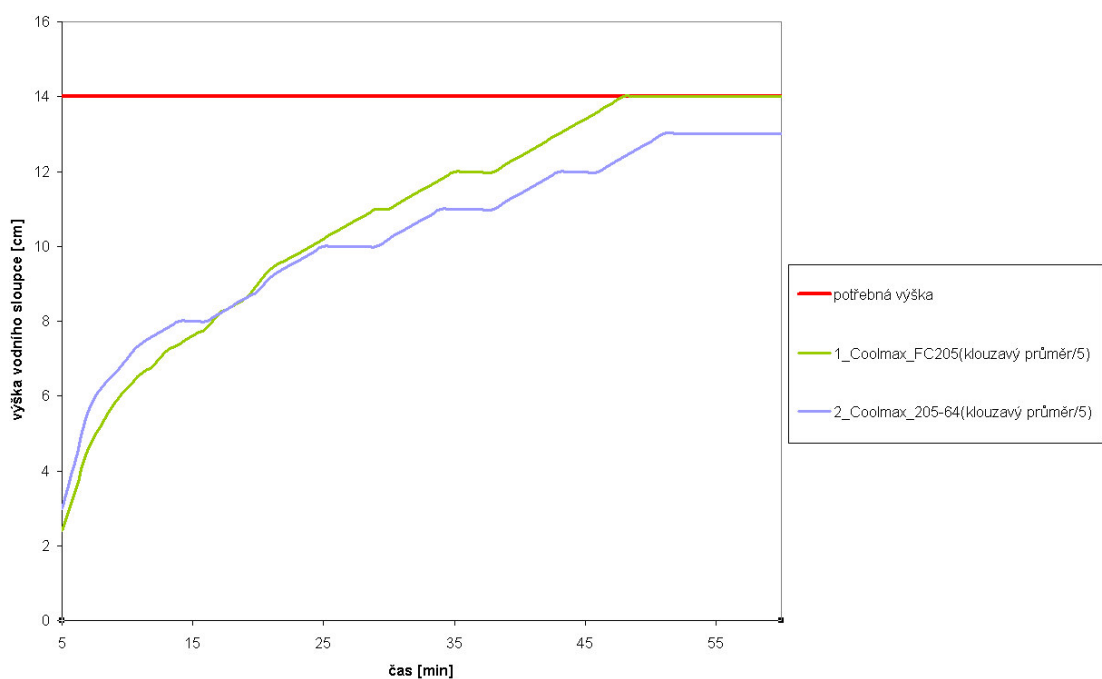
Výsledky měření jsou znázorněny v následujících grafech. Vzhledem k velkému počtu měřených vzorků jsou materiály rozděleny do kategorií a v posledním grafu (viz. Graf. 8) jsou pak znázorněny hodnoty vzorků, které lze považovat za nejvhodnější z každé kategorie.



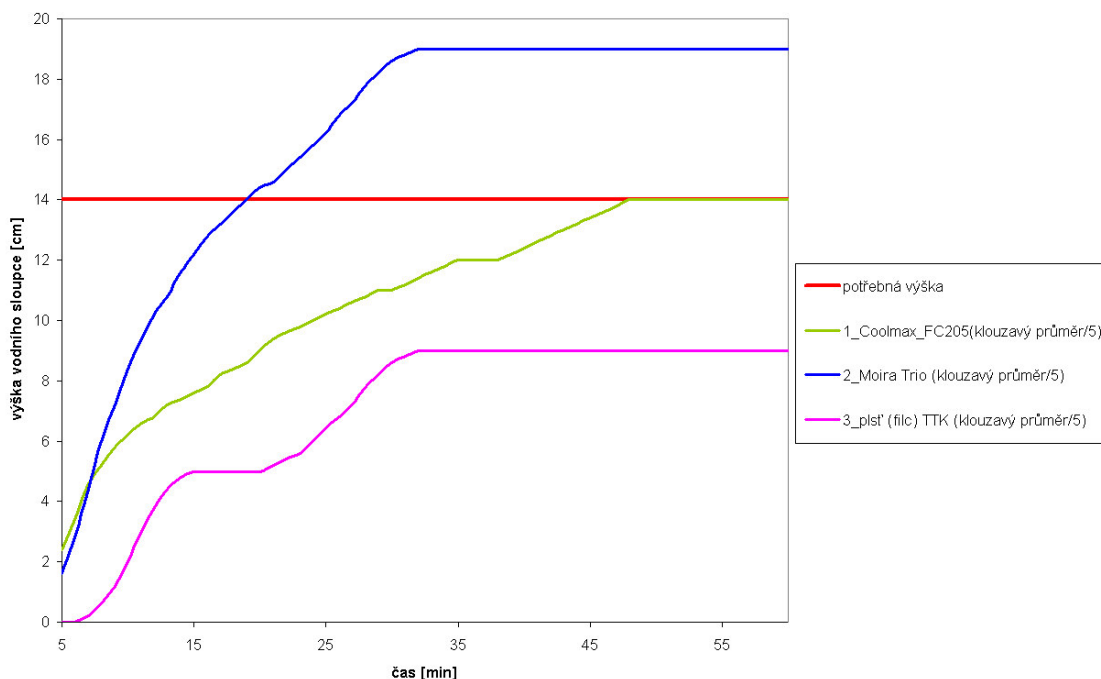
Graf. 5 - Dosažená výška vodního sloupce závislosti na čase u vzorků typu MOIRA.



Graf. 6 - Dosažená výška vodního sloupce v závislosti na čase u vzorků plsti.



Graf. 7 - Dosažená výška vodního sloupce v závislosti na čase u vzorků typu Coolmax.



Graf. 8 - Dosažená výška vodního sloupce v závislosti na čase.

Z výsledků měření je evidentní, že jako nejvhodnější materiál se ukázal MOIRA Trio pro svojí schopnost dosáhnout velké výšky vodního sloupce v krátkém čase. Experimentálně byla také na větrné trati ověřena schopnost materiálu kapalinu vzlínat i za působení vysokých rychlostí proudění vzduchu (až do rychlosti $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Popis materiálu MOIRA Trio:

Hlavní surovinou pro výrobu pleteniny MOIRA je modifikovaný polypropylen, který je složitým technologickým procesem zvláknován na profilované polypropylenové vlákno (PP).

PP vlákno je základem pro speciálně konstruované pleteniny. Hlavní výhody prádla z profilovaného PP vlákna jsou vysoká pevnost, pružnost, nízká hmotnost, rychlý odvod vlhkosti, lehkost, dobré izolační vlastnosti a stálobarevnost [16].

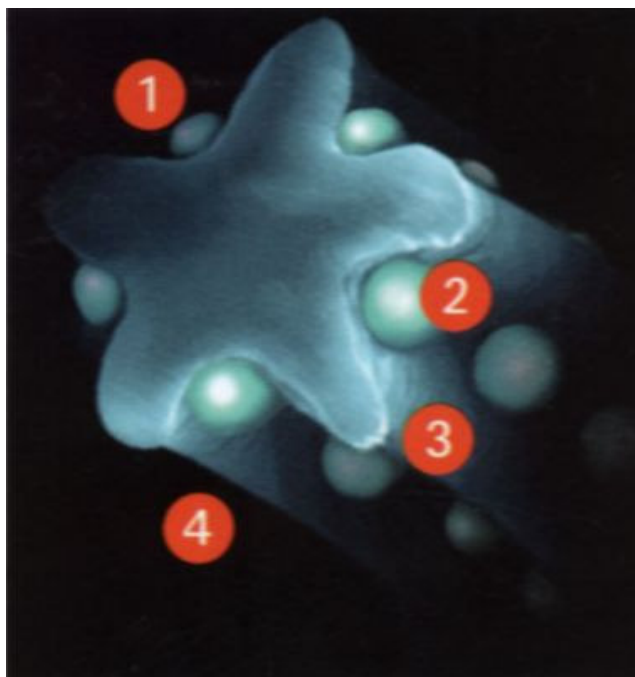


Obr. 35 - Profilované PP vlákno [18].



Obr. 36 - Průřez PP vláknem bez profilu a profilovaným vláknem MOIRA TG 900 [18].

MOIRA Trio obsahuje vlákna TG 900 a Sanitized (viz. Obr. 36) [17]:



Obr. 37 - Popis profilované PP vlákna TG 900 [17].

Na obrázku je vidět, že mezi laloky zůstává velké množství vzduchu, působící jako izolační vrstva (1). Ve vnitřním zakřivení laloků jsou vodní částice transportovány výrazně rychleji než na rovném povrchu (2). Dvakrát větší povrch než u kruhového profilu umožňuje dvakrát rychlejší odpaření vlhkosti z povrchu vlákna (3). Vlákně se pokožky dotýká pouze laloky, proto je vždy na omak suché (4) [17].

3.5.6. Postup měření

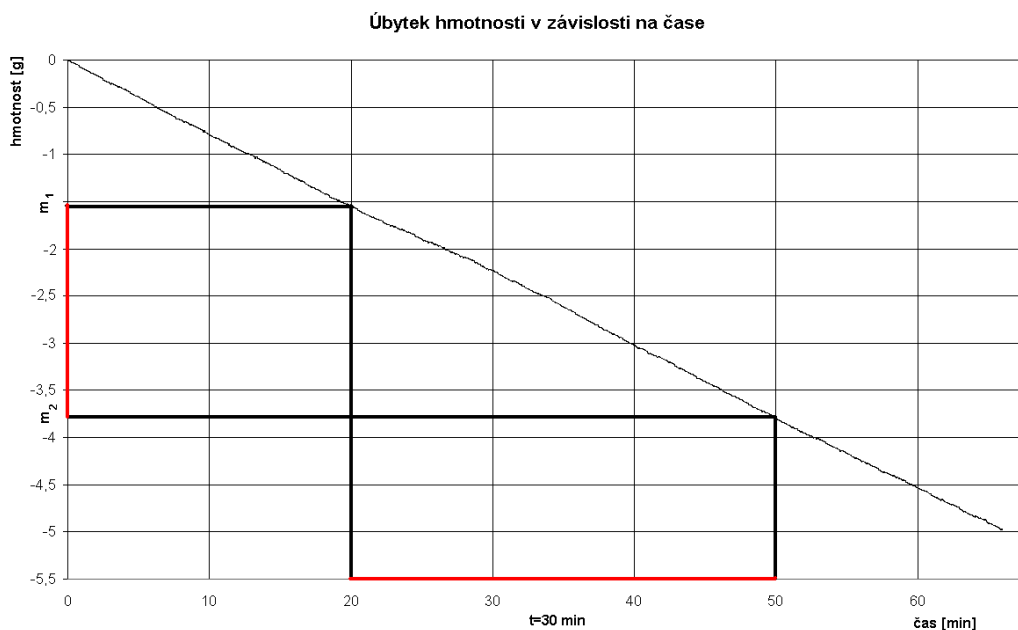
1. Uvést laboratorní větrnou trať a potřebnou aparaturu do provozu.
2. Spustit program pro regulaci laboratorní větrné tratě a navolit požadované hodnoty.
3. Spustit program pro zápis hodnot úbytku hmotnosti.
4. Smočit podkladovou textilií upevněnou na zařízení pro hodnocení propustnosti vodní páry.
5. Upevnit vzorek o velikosti 250x110 mm na válec s podkladovou textilií.
6. Doplnit vodu do zásobníku po vyznačenou rysku.
7. Umístit fólii pro zamezení vlivu proudícího vzduchu na vážící soustavu.
8. Umístit zařízení pro hodnocení propustnosti vodní páry do otvoru č.2 v laboratorní větrné trati.
9. Stisknutím tlačítka START v programu pro řízení laboratorní tratě spustit proudění vzduchu.
10. Zkontrolovat zda některá z částí zařízení se nedotýká zásobníku s vodou.
11. Spustit v programu pro zaznamenávání úbytku hmotnosti pomocí tlačítka START zaznamenávání hodnot.
12. Po skončení měření ukončit proudění vzduchu tlačítkem STOP v programu pro řízení laboratorní větrné tratě.
13. Ukončit v programu pro zápis hodnot úbytku hmotnosti pomocí tlačítka STOP a uložit hodnoty na disk.
14. Vyměnit vzorek
15. V případě posledního měření vypustit vodu ze zásobníku a vypnout celou soustavu.

Samotné měření musí probíhat po dobu nejméně 45 minut. Doporučená doba je 60 minut. Během měření je důležité, aby byl kontrolován stav vzorku a nedošlo k jeho

poškození proudem vzduchu. Vzorek musí být spojen takovým způsobem, aby se zamezilo možnému prostupu páry spojem.

Hodnoty jsou zaznamenávány v textové formě v podobě matice, kde sloupec č.1 značí čas od začátku měření. K tomu náleží ve sloupci č.2 aktuální hodnoty hmotnosti zásobníku s vodou.

Pro zjištění hodnot m_1 [g] a m_2 [g] je vhodné naměřená data zobrazit v grafu (viz Graf č.7), kde se zobrazí případné chyby měření.



Graf. 9 - Nákres odečítání hodnot z grafu.

V grafu se odečte hodnota hmotnosti m_1 [g] v čase t_1 [min] a hodnota m_2 [g] v čase t_2 [min]. Hodnota $t_1 \geq 15$ min a $\Delta t = 30$ min (Δt [min] je rozdíl časů t_2 a t_1). Podle vztahu (36) získáme Δm [g], velikost úbytku hmotnosti vody vzniklý odpařováním skrz daný materiál. Tato hodnota se pomocí vztahu (37) převede na propustnost vodních par P_v [g·m²·24h] pro jednotlivé materiály.

Vztah pro výpočet úbytku hmotnosti vody vypařené skrz oděvní vrstvu do okolí po dobu 30 minut:

$$\Delta m = m_2 - m_1 \quad [g] \quad (36)$$

Vztah pro výpočet propustnosti vodní páry P_v [$\text{g} \cdot \text{m}^2 \cdot 24\text{h}$] při dané rychlosti proudění vzduchu v [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

$$P_v = \Delta m \cdot \alpha_1 \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot 24\text{h}} \right] \quad (37)$$

kde α_1 [-] je koeficient pro převod propustnosti na m^2 za 24 hodin a má hodnotu $\alpha_1=1745,5$.

3.5.7. Podmínky měření

teplota v laboratorní větrné trati: 29 °C

relativní vlhkost v laboratorní větrné trati: 43 %

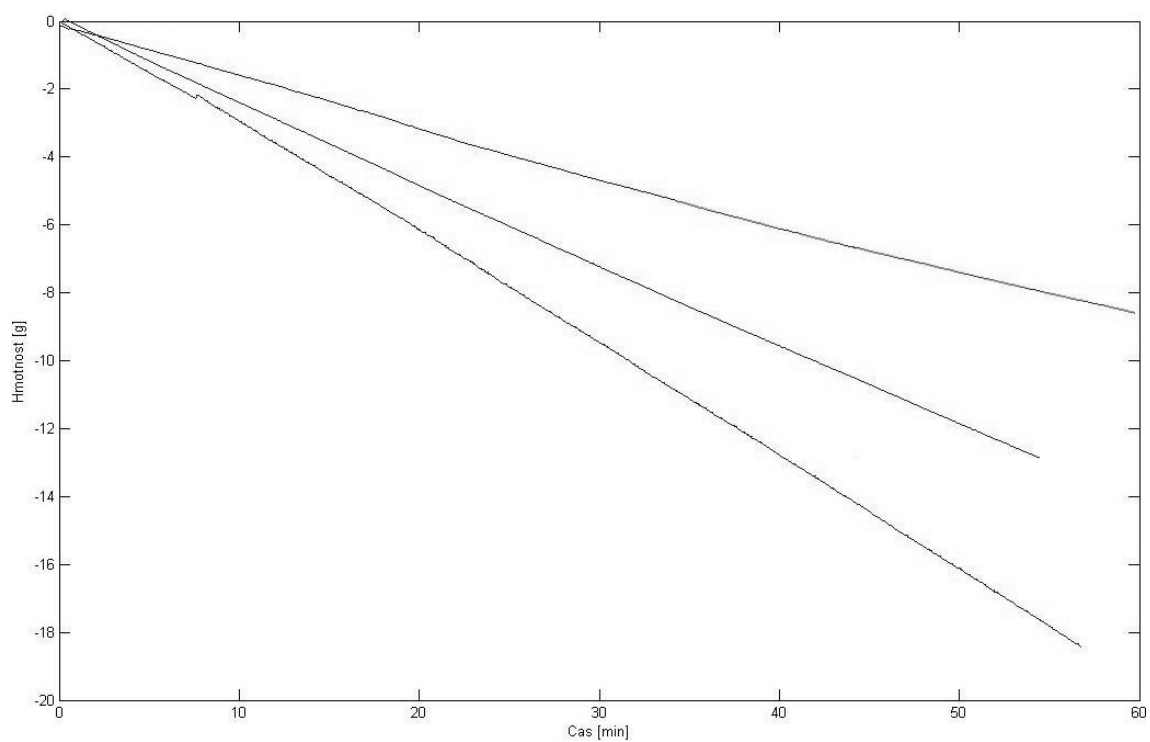
3.5.8 Výsledky měření

Každý materiál byl měřen při rychlostech proudění vzduchu 0, 5, a 7 m·s⁻¹. Pro výpočet propustnosti vodní páry **P_v** [g·m²·24h] byl použit vztah (37). Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

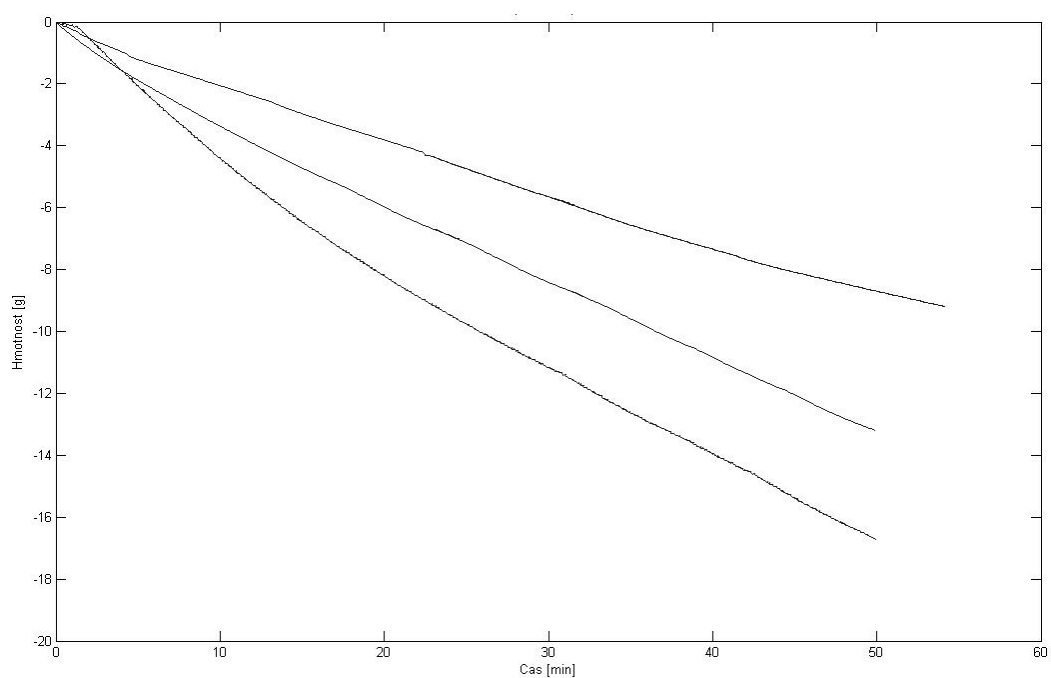
Tab.5 - Naměřené hodnoty propustnosti vodní páry na větrné trati

vzorek	při 0 m·s ⁻¹	k ₀₅	při 5 m·s ⁻¹	k ₅₇	při 7 m·s ⁻¹
	P _v [g·m ² ·24h]		P _v [g·m ² ·24h]		P _v [g·m ² ·24h]
1	7156,6	1,81	12986,5	1,33	17280,5
2	6475,8	1,13	7331,1	1,38	10123,9
3	8727,5	1,14	9949,35	1,07	10647,5
4	4189,2	1,37	5760,1	1,24	7156,5
5	2618,3	1,03	2705,5	1,19	3219,5
6	2967,3	1,29	3840,1	1,41	5411,2
7	2705,5	1,26	3403,7	1,23	4189,2
8	3316,5	2,16	7156,5	1,27	9076,6
9	698,2	1,38	960,2	1,13	1082,2
10	9774,8	1,71	16756,8	1,24	20771,5

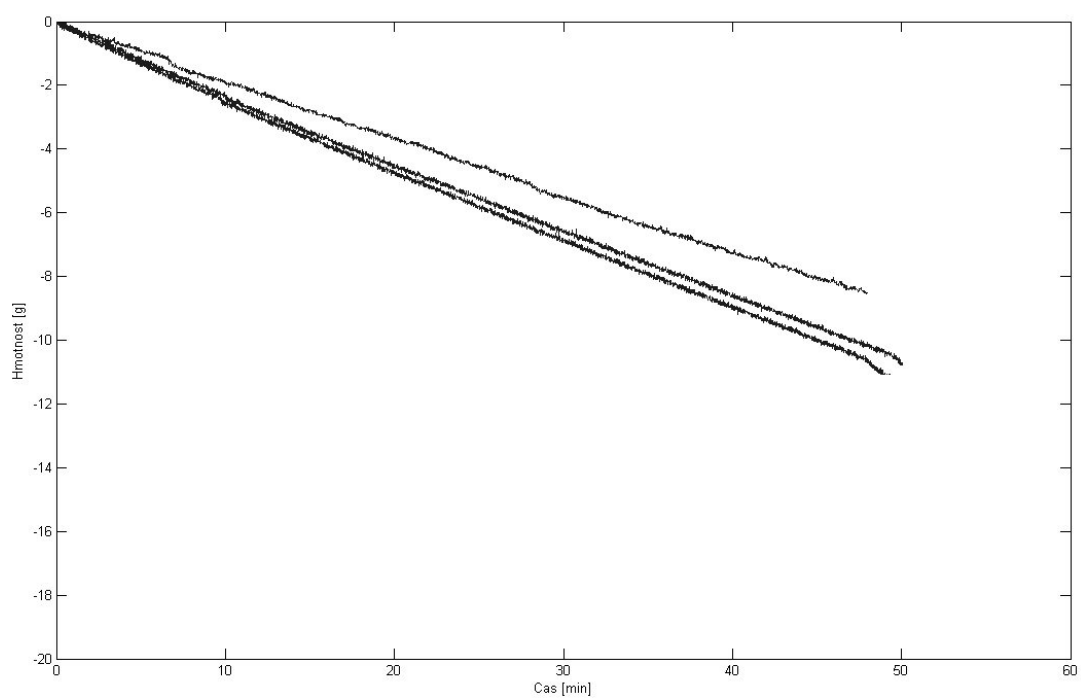
V následujících grafech jsou znázorněny přímky, ze kterých byly v časech t₁=15 min a t₂=45 min vyneseny hodnoty hmotností m₁ a m₂. U grafu č. 11 byly použity hodnoty t₁=20 min a t₂=50.



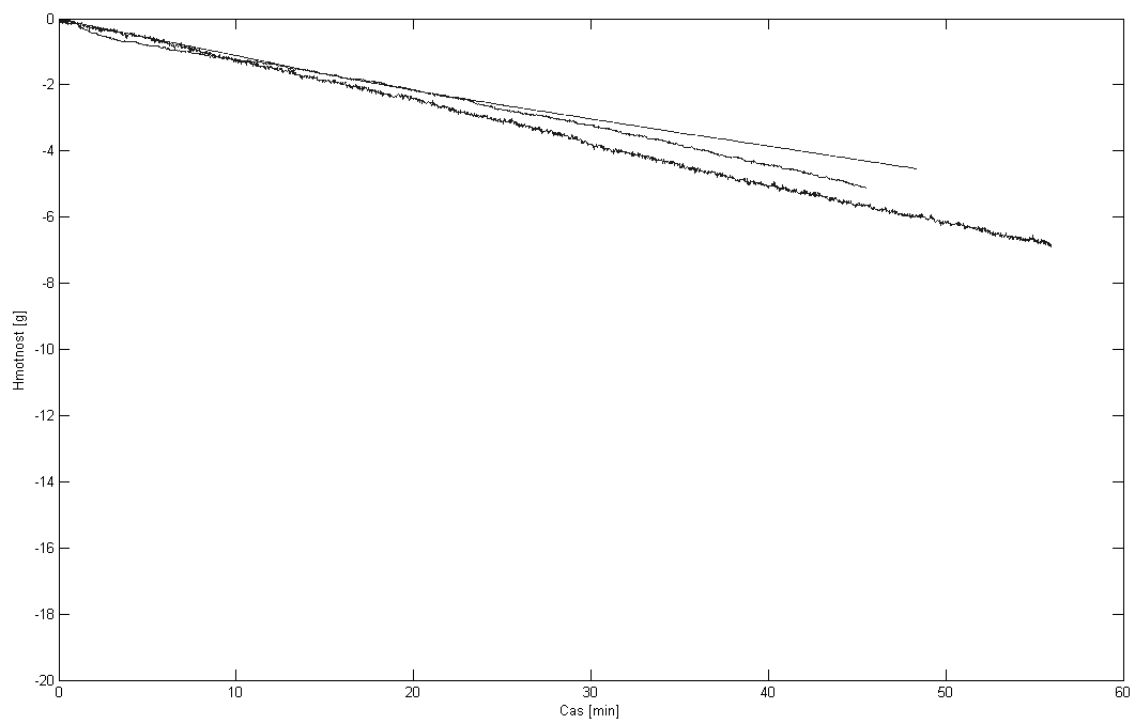
Graf. 10 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 1.



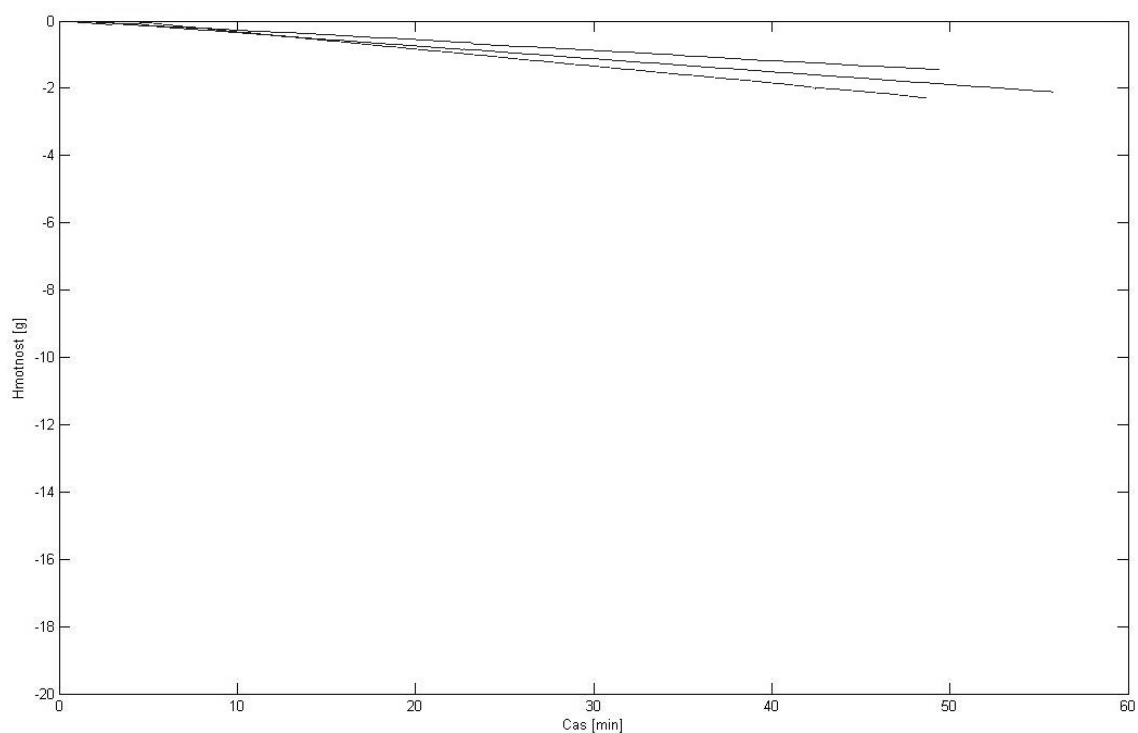
Graf. 11 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 2.



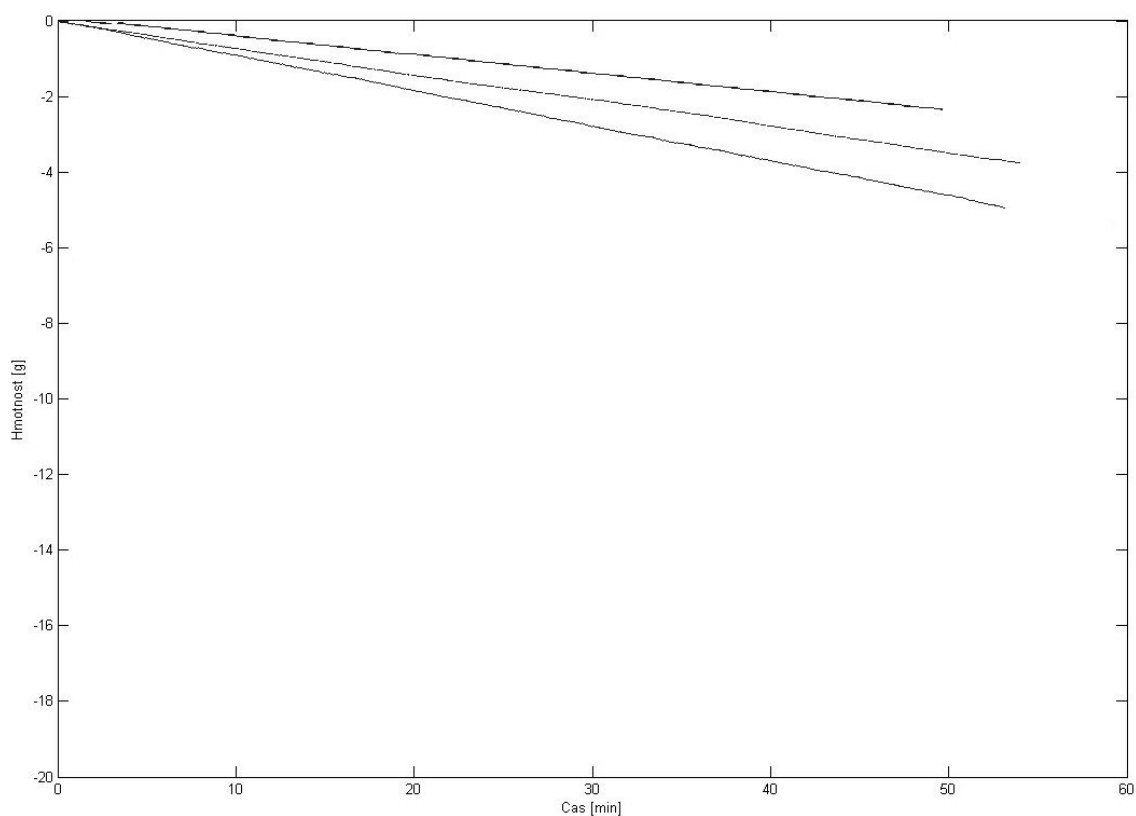
Graf. 12 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 3.



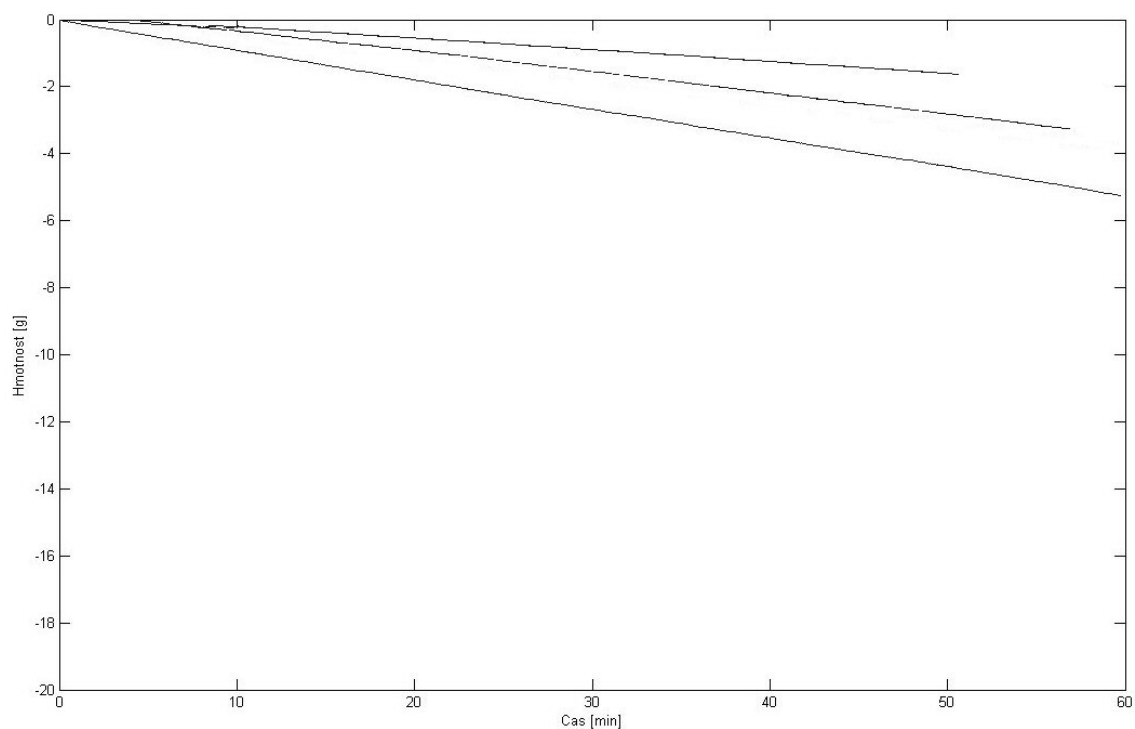
Graf. 13 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 4.



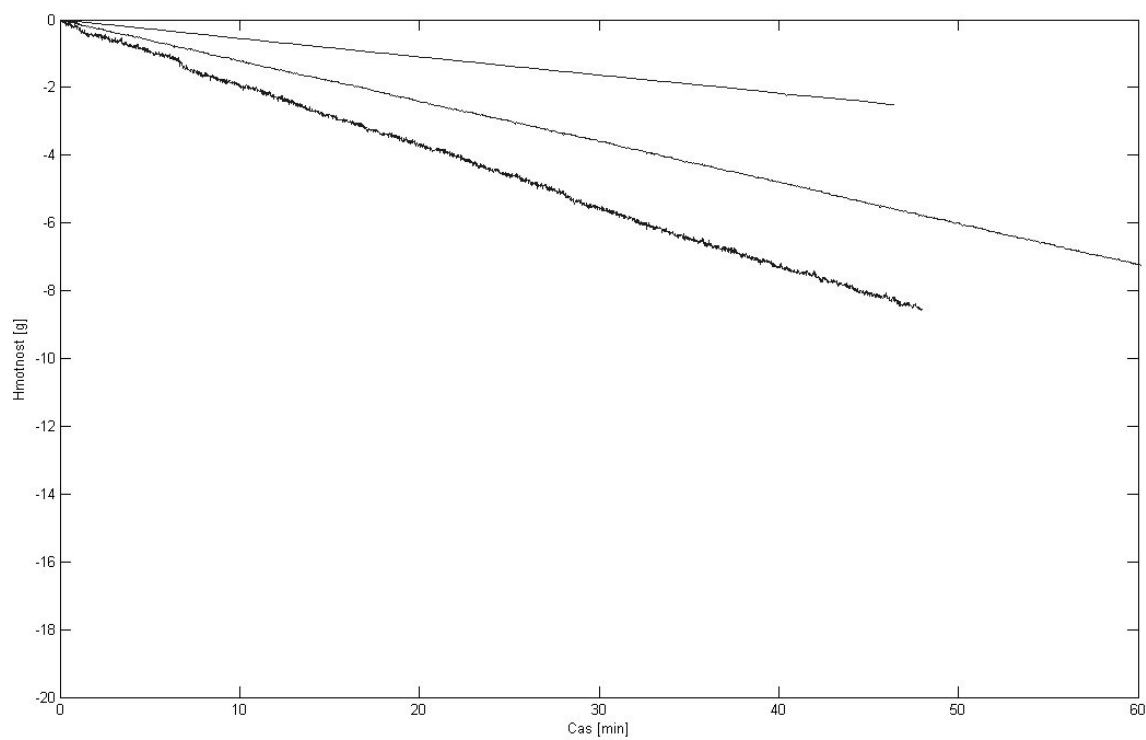
Graf. 14 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 5.



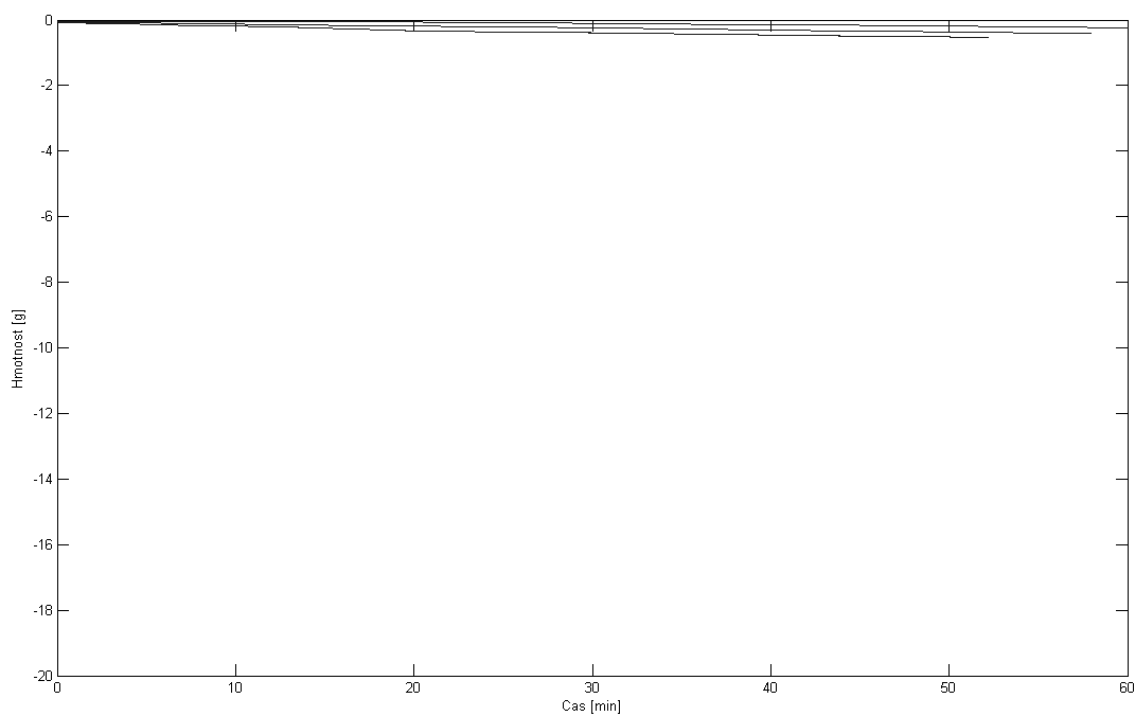
Graf. 15 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 6.



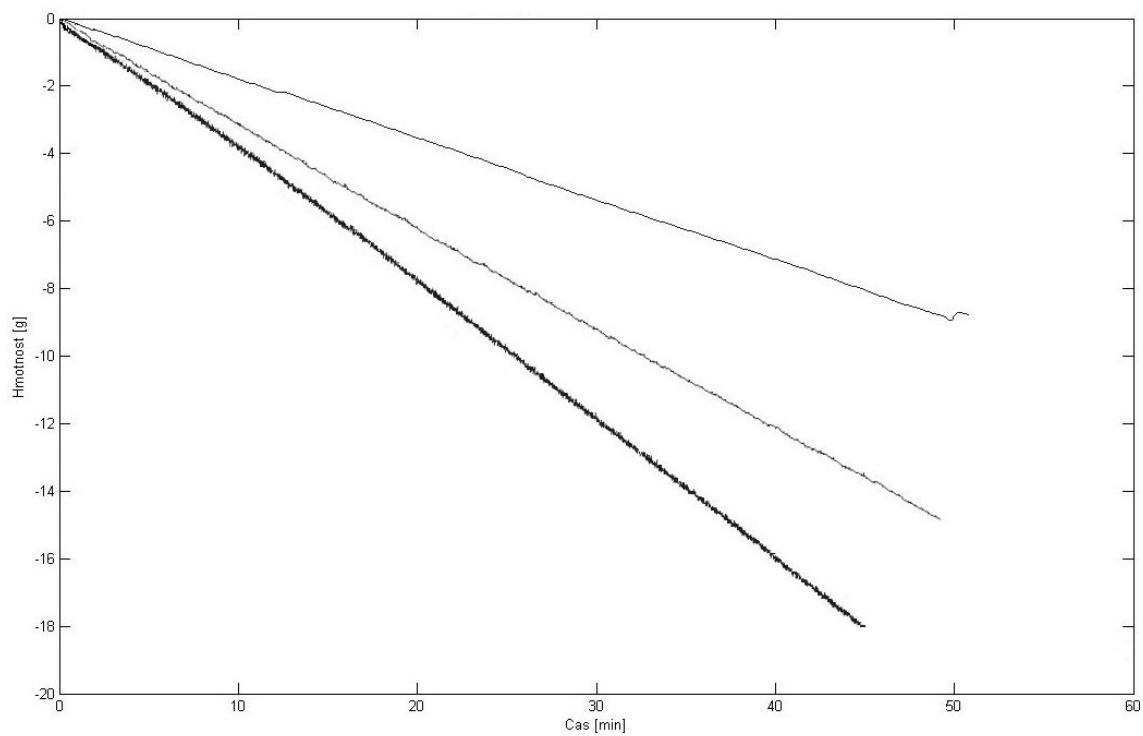
Graf. 16 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 7.



Graf. 17 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 8.



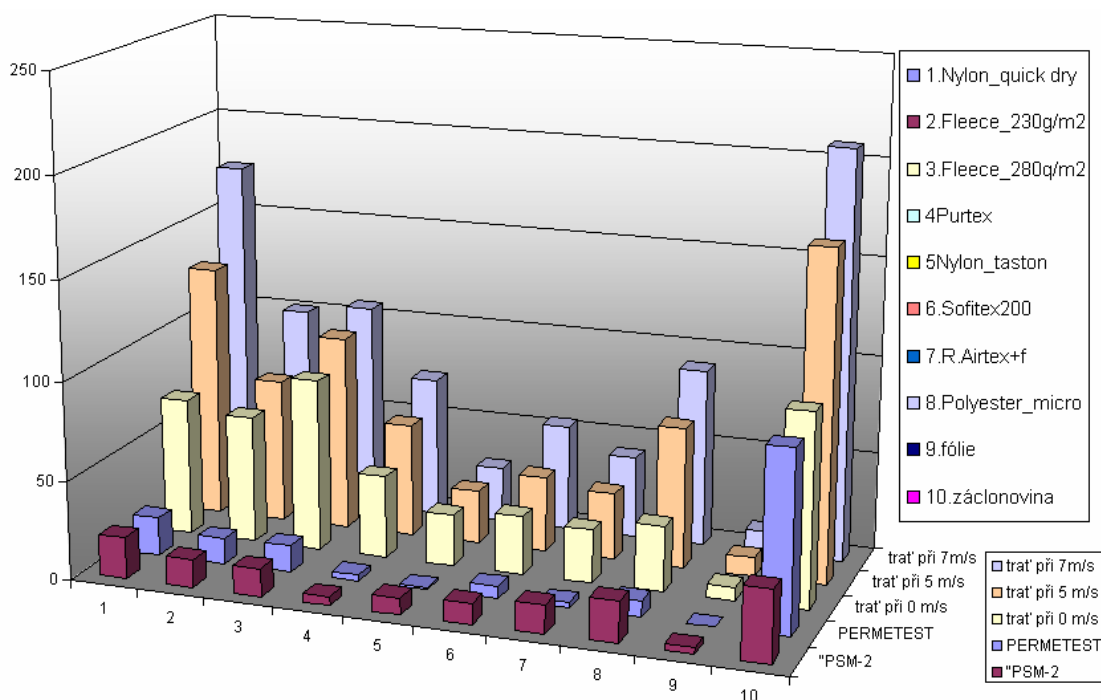
Graf. 18 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 9.



Graf. 19 - Hodnoty úbytku hmotnosti v čase pro vzorek č. 10.

3.6. Porovnání výsledků jednotlivých měření

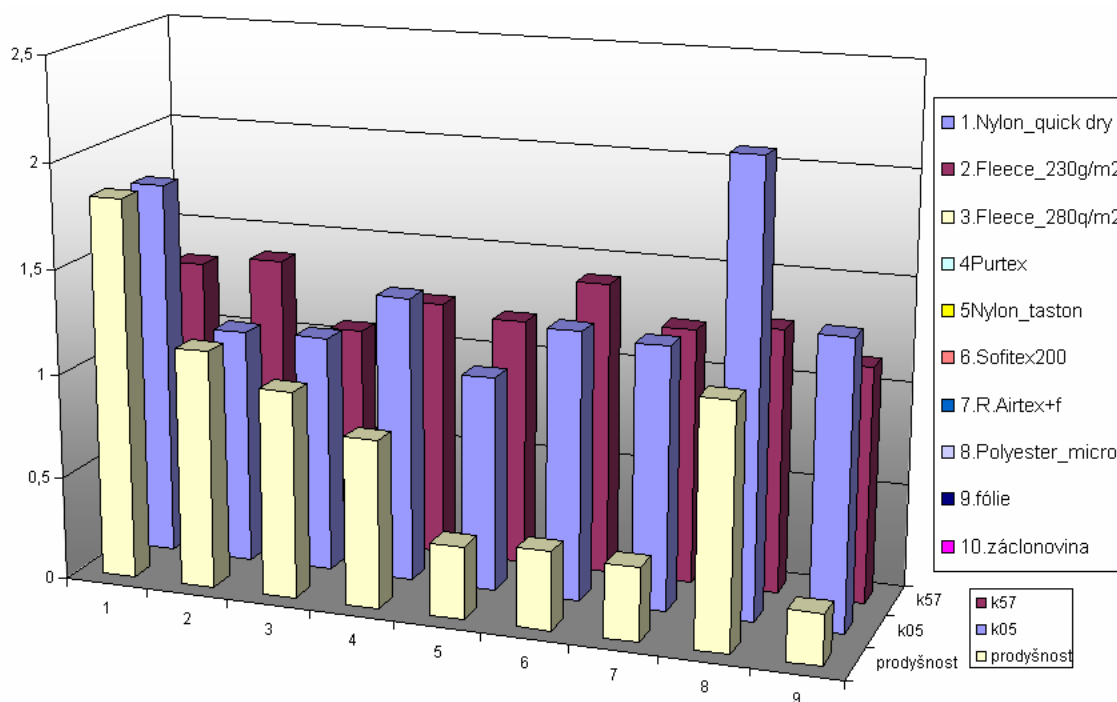
Pro porovnání výsledků z jednotlivých měření, byly hodnoty vloženy do společného grafu. Neboť výsledky z jednotlivých přístrojů nejsou ve stejných jednotkách a nelze je na společné jednotky převést, je graf č. 20 pouze orientační.



Graf. 20 - Porovnání výsledků hodnot propustnosti.

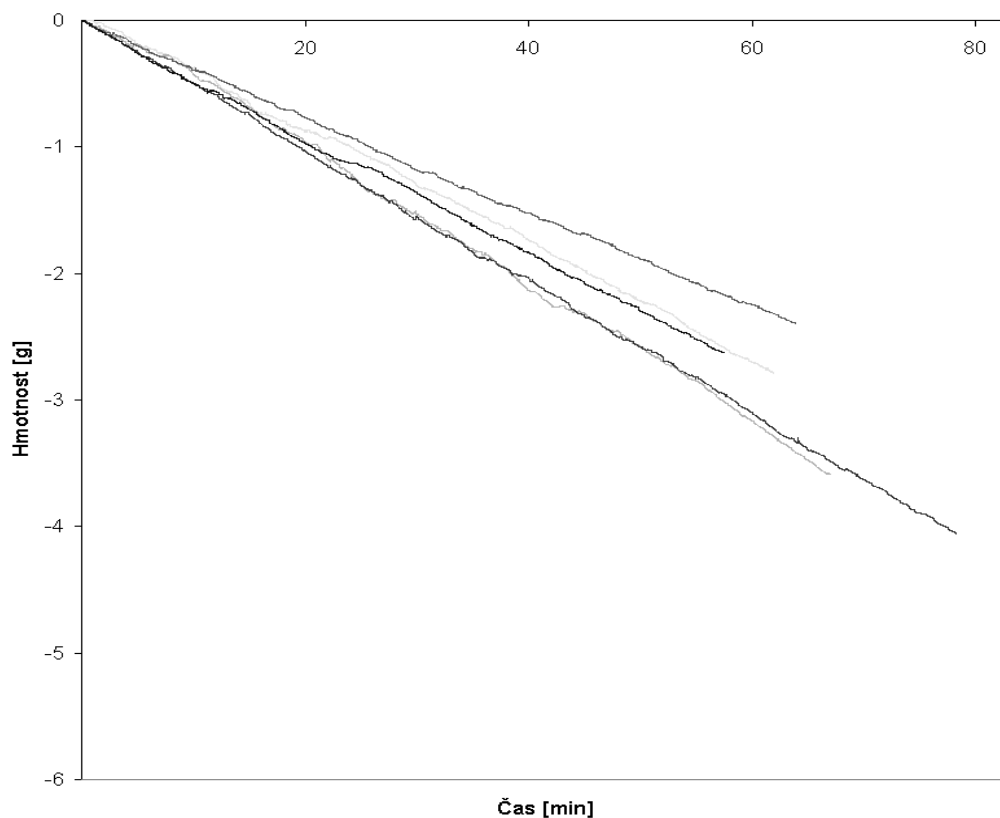
Výsledky z přístroje PSM-2 byly pro možnost lepšího porovnání násobeny 100x a naopak hodnoty z měření na laboratorní větrné trati touto hodnotou vyděleny. Z grafu je patrné že výsledky jednotlivých měření odpovídají.

V grafu č.21 jsou hodnoty jednotlivých násobků mezi naměřenými hodnotami propustnosti vodní páry na laboratorní větrné trati a prodyšnost jednotlivých vzorků měřená pomocí přístroje SDL M021S. Podobně jako následující graf je i tento pouze orientační. Hodnoty propustnosti vzduchu R [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$] byly vyděleny 50.



Graf. 21 - Porovnání koeficientů podílu s prodyšností jednotlivých vzorků.

Z grafu je patrné, že u materiálů s vysokou prodyšností je podíl hodnot propustnosti vodních par měřených za ofukování vzduchu při rychlostech 0 a $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ větší než u materiálů méně propustných. Dále je zřetelné, že při vyšších rychlostech se tento rozdíl ztrácí.



Graf. 22 - Porovnání úbytků hmotnosti v čase u jednoho vzorku při více měření.

Pro ověření přesnosti měření na zařízení pro měření propustnosti vodních par při laboratorní větrné trati, byl změřen vzorek materiálu za stejných podmínek pětkrát. Výsledné hodnoty měření jsou zaznamenány v tabulce 6 a vyneseny do grafu č 22., hodnoty pro výpočet statistických údajů byli zaznamenány v časech $t_1=20$ min, $t_2=40$ min a $t_3=60$ min.

Tab.6 - Statistické hodnoty pro opakované měření stejného vzorku.

	1	2	3	4	5	prům.	Směrodat. odchylka	var. koef.	IS
t_1	0,87	0,96	1,03	0,97	0,77	0,92	0,101	0,01	0,089
t_2	1,73	2,13	2,04	1,78	1,52	1,84	0,246	0,06	0,216
t_3	2,7	3,17	3,1	2,63	2,25	2,77	0,375	0,14	0,329

4. ZÁVĚR

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo navrhnutí vhodného zařízení pro hodnocení propustnosti vodní páry plošnou textilií, jeho sestavení a instalace na laboratorní větrnou trať umístěnou na KOD.

Soustava větrné tratě může pomocí třífázového asynchronního motoru regulovaného velice přesným frekvenčním měničem simulovat různé rychlosti proudění vzduchu, a to až na hodnotu $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vzhledem k možnosti krokování po $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ tak laboratorní větrná trať umožňuje vytvořit širokou škálu povětrnostních podmínek.

Pro experiment byly použity především membránové a zátěrové materiály. Zvláště membránové materiály jsou v současnosti velmi používány k výrobě oděvů do extrémních klimatických podmínek.

Podstatné pro stanovení vhodného principu měření propustnosti vodní páry textilií bylo jednak umístění vzorku ve vertikální poloze a jednak rychlost proudu vzduchu působícího na vzorek. Z těchto dvou důvodů nemohla být vlhkost snímána na základě metod měření pro vyhodnocování propustnosti vodní páry jako u podobných přístrojů umístěných na KOD.

Proto byla zvolena metoda na principu měření úbytku hmotnosti vody, pro niž byla sestrojena soustava pro měření propustnosti vodní páry za podmínek proudícího vzduchu a instalována na laboratorní větrnou trať. Tato soustava poté byla vzhledem k výsledkům měření upravována tak, aby se vyloučily veškeré faktory ovlivňující přesnost měření.

Soustava obsahuje duté válcové těleso připevněné k odnímatelné části větrné tratě zařízení pro zaznamenávání hmotnosti a materiál imitující lidskou pokožku. Jako tento materiál byla zvolena na základě měření MOIRA Trio. Rozhodujícím faktorem pro volbu právě materiálu Moira Trio byla schopnost v relativně krátkém čase dosáhnout takové výšky vodního sloupce, která vyhovovala potřebám experimentu.

Pro snímání hodnot úbytku hmotnosti vody, která se během měření odpařuje skrz vzorek, byly použity digitální váhy s přesností na tisíce gramů. Tyto váhy komunikují pomocí sériového rozhraní RS 232 C s PC. Výstupní hodnoty jsou pak pomocí programu zaznamenávány na pevný disk.

Naměřené výsledky byly porovnávány s hodnotami z dalších přístrojů pro hodnocení propustnosti vodní páry, které jsou umístěny v laboratořích komfortu na KOD. Měření bylo provedeno na přístrojích PERMETEST a PSM-2. Na zařízení PERMETEST lze

snímat relativní propustnost vodních par \bar{p} [%] a na přístroji PSM-2 se měří odolnost vůči vodním parám R_{et} [$\text{m}^2 \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}$]. Zařízení na laboratorní větrné trati pro měření propustnosti vodních par zaznamenává hodnoty v gramech. Protože výsledky jsou v rozdílných jednotkách, které nelze převést, bylo možné provést pouze porovnání schopností jednotlivých materiálů propouštět vodní páru. Na základě tohoto srovnání, které bylo prováděno za podobných podmínek, pak lze usuzovat ve funkčnost zařízení pro měření propustnosti vodní páry.

Vzhledem k přesnosti snímaného úbytku hmotnosti (tisícina gramu), vysoké frekvenci záznamu dat (desetina sekundy) a délce měření je tato soustava velice přesná. Právě tyto parametry však přináší nesnáze se zpracováním naměřených hodnot. Nevýhodou je také nutnost spuštění jednoho programu pro záznam dat z digitálních vah a druhého pro regulaci rychlosti proudění vzduchu. Další výzkum by měl proto směřovat k vytvoření softwarového prostředí, jenž by uživateli umožňoval nastavení parametrů vážení s možností ovládání laboratorní větrné tratě.

5. Použitá literatura

- [1] Hes L., Sluka P.: *Úvod do komfortu textilií*. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2005.
- [2] Růžičková, D.: *Oděvní materiály*. Skriptum TU Liberec, 2003.
- [3] Staněk J., Kubíčková M.: *Oděvní materiály*. Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, Liberec, 1986.
- [4] Kovačič, V.: *Kapitoly z textilního zkušebnictví*. TU Liberec, 2004.
- [5] Staněk, J.: *Nauka o textilních materiálech. Díl I., Část 4., Vlastnosti délkových a plošných textilií*. Skripta VŠST, Liberec, 1988.
- [6] <http://www.dama.cz> [cit. 10.4.06 10:15]
- [7] Čihák, R.: *Anatomie. Díl 3.*, Grada Publishing a.s., 2004
- [8] Weston, T.: *Atlas lidského těla*. Czech Edition Fortuna Print, Praha, 1993.
- [9] Schreiber, M. a kolektiv: *Funkční Somatologie*. Nakladatelství a vydavatelství H&H, Praha, 1998.
- [10] Návod k obsluze přístroje PERMETEST.
- [11] Návod k obsluze přístroje PSM-2.
- [12] Návod k obsluze měřicího přístroje ALMEMO. Dostupné na internetu: <http://www.ahlborn.com>
- [13] Hübchmann, K.: *Kůže orgán lidského těla*. Academia, nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 1972.
- [14] Návod k obsluze digitálních vah KERN. Dostupné na internetu: <http://www.vahy-kern.cz>
- [15] Manuál k vahám KERN typu EW/EG-(N)
- [16] Růžičková, D.: *Zpracovatelské a užitné vlastnosti oděvních materiálů*. Technická univerzita v Liberci, [cit. 14.4. 2006]. Dostupné na internetu: <http://www.ft.vslib.cz/databaze/skripta/data/2003-02-17/12-10-47.pdf>
- [17] <http://www.moirac.cz/> (katalog_2004.pdf) [cit. 8.4.06 13:55]
- [18] *Vlákno Moira TG 900*. [cit. 6.5.06 13:19]. Dostupné na internetu: <http://www.moirac.cz/index.php?clanek=30>
- [19] Návod k obsluze přístroje SDL M021S.

Použité normy:

ČSN EN ISO 5084 (ČSN 800844) Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků

ČSN EN ISO 9237 (ČSN 80 0817) Zjišťování prodyšnosti plošných textilií

ČSN EN 31092 (ČSN 80 0819) Zjišťování fyziologických vlastností - měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou) (ISO 11092:1993)

ČSN EN ISO 20139 (ČSN 80 0056) Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení.

ČSN 80 0828 Stanovení savosti vůči vodě - postup vzlínáním.

ČSN 80 0831 Savost plošných textilií. - Stanovení nasákavosti

ČSN 80 0845 Stanovení ukazatelů hmotnosti

ČSN 80 0855 Zjišťování relativní propustnosti vodních par plošnou textilií.

Seznam příloh:

Vzorky zkoušených materiálů

5 listů